

LUCIANO DEL BEM JÚNIOR

**INTERFERÊNCIA DE ADJUVANTES ASSOCIADOS AO CLETHODIM NAS
CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DA CALDA E *RAINFASTNESS* NO
CONTROLE DE CAPIM-AMARGOSO**

Botucatu/SP

2021

LUCIANO DEL BEM JÚNIOR

**INTERFERÊNCIA DE ADJUVANTES ASSOCIADOS AO CLETHODIM NAS
CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DA CALDA E *RAINFASTNESS* NO
CONTROLE DE CAPIM-AMARGOSO**

Tese apresentada à Faculdade de
Ciências Agronômicas da Unesp -
Campus de Botucatu, para obtenção do
título de Doutor em Agronomia (Proteção
de Plantas).

Orientador: Prof. Dr. Carlos Gilberto
Raetano

Botucatu/SP

2021

B455i	Bem Júnior, Luciano Del Interferência de adjuvantes associados ao clethodim nas características físico-químicas da calda e rainfastness no controle de capim-amargoso / Luciano Del Bem Júnior. -- Botucatu, 2021 82 p. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu Orientador: Carlos Gilberto Raetano 1. Tecnologia de aplicação. 2. Digitaria insularis. 3. Intervalo de chuva após aplicação. 4. Controle químico. I. Título.
-------	--

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu. Dados fornecidos pelo autor.

Essa ficha não pode ser modificada.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA TESE: INTERFERÊNCIA DE ADJUVANTES ASSOCIADOS AO CLETHODIM NAS CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DA CALDA E RAINFASTNESS NO CONTROLE DE CAPIM-AMARGOSO

AUTOR: LUCIANO DEL BEM JÚNIOR

ORIENTADOR: CARLOS GILBERTO RAETANO

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Doutor em AGRONOMIA (PROTEÇÃO DE PLANTAS), pela Comissão Examinadora:


Prof. Dr. CARLOS GILBERTO RAETANO (Participação Virtual)
Proteção Vegetal / Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu UNESP


Prof. Dr. EDIVALDO DOMINGUES VELINI (Participação Virtual)
Proteção Vegetal / Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu - UNESP


Prof. Dr. EVANDRO PEREIRA PRADO (Participação Virtual)
Faculdade de Ciências Agrárias e Tecnológicas de Dracena - UNESP


Prof. Dr. RONE BATISTA DE OLIVEIRA (Participação Virtual)
Universidade Estadual do Norte do Paraná/UEBP-Campus Luiz Meneguel / Bandeirantes/PR


Dr. IURI STEFANO NEGRISSELO DARIO (Participação Virtual)
Pesquisa e Desenvolvimento / Clariant

Botucatu, 02 de dezembro de 2021

AGRADECIMENTOS

A Deus e sua infinita bondade;

Aos meus queridos pais, Luciano e Maria Lucia, por todo amor, apoio e ensinamentos ao longo da vida;

Ao meu irmão, Guilherme, também pelo companheirismo em todas as etapas que passei;

À minha noiva, Jéssica Maria, por todo amor, compreensão e carinho ao longo desses anos;

Ao Prof. Dr. Carlos Gilberto Raetano, pelas valiosas orientações, ensinamentos, paciência e amizade;

À Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Faculdade de Ciências Agrônomicas – Campus de Botucatu, SP, pela oportunidade e todo suporte necessário para minha formação;

Aos companheiros de trabalho e amigos do Laboratório de Tecnologia de Aplicação de Defensivos Agrícolas, que compõe o grupo PROTEC, os quais tiveram grande importância na realização desse trabalho, pela ajuda, companheirismo e amizade;

Aos docentes e servidores do Programa de Pós-Graduação em Agronomia: Proteção de Plantas, funcionários da Fazenda de Ensino Pesquisa e Extensão (FEPE) e Seção de Pós-Graduação por todas as orientações, ensino e convivência;

Ao professor Dr. Marcelo da Costa Ferreira e equipe pela disponibilidade e auxílio nas atividades realizadas no Núcleo de Estudo e Desenvolvimento em Tecnologia de Aplicação (NEDTA);

À Fundação MS e a todos os meus companheiros de trabalho, pelos inúmeros ensinamentos, amizade, oportunidade e suporte nesta etapa final de conclusão dos meus estudos;

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES (código 001), pela bolsa de estudos concedida.

“A persistência é amiga da conquista. Se você quer chegar aonde a maioria não chega, faça o que a maioria não faz”.

Bill Gates

RESUMO

O uso de adjuvantes junto aos herbicidas inibidores da ACCase é prática comum, porém podem proporcionar alterações físico-químicas na calda, influenciar no espalhamento e espectro das gotas, além da minimização dos impactos ambientais, como a ocorrência de chuvas logo após a pulverização. Assim, objetivou-se neste estudo avaliar o efeito da associação de adjuvantes ao herbicida clethodim na otimização da pulverização, bem como a interferência da ocorrência de chuva, em diferentes intervalos de tempo após aplicação, no controle de capim-amargoso. Para isso, foram conduzidos dois experimentos, com o herbicida clethodim associado aos adjuvantes: Agral, Argenfrut, Assist, Aureo, Integrum, JS, LI-700, Silwet L-77, Veget Oil, X1 (Óleo vegetal + surfatantes), X2 (Óleo vegetal + surfatantes) e Wetcit Gold. O experimento 1 foi realizado em laboratório, onde foram avaliados os parâmetros de condutividade elétrica, pH, viscosidade, tensão superficial estática (TSE) e o ângulo de contato em superfície vegetal. No experimento 2 foi avaliado o espectro das gotas da pulverização pelo medidor de tamanho de partículas em tempo real, a deposição da calda em plantas de capim-amargoso com o marcador Azul Brilhante e o controle de *D. insularis* com chuva simulada de 10 mm, após a aplicação, em cinco intervalos de tempo (30 min, 60 min, 120 min, 240 min, 480 min), além do padrão sem chuva. O adjuvante LI-700 garantiu a maior redução de pH, bem como o maior aumento na condutividade elétrica da calda herbicida. O surfatante siliconado Silwet L-77 associado ao herbicida clethodim assegurou a maior redução dos parâmetros tensão superficial estática e ângulo de contato em folhas de capim-amargoso. Houve incremento na deposição da calda herbicida pelo acréscimo dos adjuvantes Assist, Aureo, Integrum, JS, LI-700 e Wetcit Gold. O espectro de gotas não foi influenciado pela adição dos adjuvantes à calda herbicida, com exceção do polímero vegetal JS, que apresentou os maiores valores de $DV_{0,5}$, $DV_{0,9}$, Span e porcentagem de gotas inferiores a 100 μm . Os adjuvantes Argenfrut, Assist, Aureo, Integrum, Silwet L-77, X1 e X2, em associação com o herbicida clethodim, se mostraram mais eficientes no controle das plantas de capim-amargoso, mesmo com ocorrência de chuva 30 minutos após a aplicação.

Palavras-chave: *D. insularis*. Óleo mineral. Surfatante. Chuva simulada. Tensão superficial.

ABSTRACT

The use of adjuvants with ACCase-inhibiting herbicides is a common practice, but they can provide physicochemical changes to the spray liquid, influence the droplets' spread and spectrum, in addition to minimizing environmental impacts, such as the occurrence of rain soon after spraying. Thus, the aim of this study was to evaluate the effect of the association of adjuvants with the herbicide clethodim in optimizing spraying, as well as the interference of the occurrence of rain, at different intervals after application, in the control of sourgrass. For this, two experiments were conducted, with the herbicide clethodim associated with adjuvants: Agral, Argenfrut, Assist, Aureo, Integrum, JS, LI-700, Silwet L-77, Veget Oil, X1 (Vegetable oil + surfactants), X2 (Vegetable oil + surfactants) and Wetcit Gold. Experiment 1 was carried out in a laboratory, where the parameters of electrical conductivity, pH, viscosity, static surface tension (SST) and the contact angle on plant surface were evaluated. In experiment 2, the spray droplet spectrum was evaluated using a real-time particle size meter, spray deposition on sourgrass plants with the Brilliant Blue tracer and the control of *D. insularis* with simulated rainfall of 10 mm, after application, at five time intervals (30 min, 60 min, 120 min, 240 min, 480 min), and without rain. The LI-700 adjuvant ensured the greatest reduction in pH, as well as the greatest increase in electrical conductivity of the herbicide spray. The silicone surfactant Silwet L-77 associated with the herbicide clethodim ensured the greatest reduction in static surface tension and contact angle parameters in sourgrass leaves. There was an increase in the deposition of the herbicide solution by the addition of Assist, Aureo, Integrum, JS, LI-700 and Wetcit Gold adjuvants. The drop spectrum was not influenced by the addition of the adjuvants to the herbicide spray, with the exception of the vegetable Polymer JS, which showed the highest values of DV_{0.5}, DV_{0.9}, Span and percentage of droplets smaller than 100 µm. The adjuvants Argenfrut, Assist, Aureo, Integrum, Silwet L-77, X1 and X2, in association with the herbicide clethodim, proved to be more efficient in controlling sourgrass plants, even with the occurrence of rain 30 minutes after application.

Keywords: *D. insularis*. Mineral oil. Surfactants. Rainfastness. Surface tension.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL.....	15
CAPÍTULO 1 - PHYSICOCHEMICAL ASPECTS AND CONTACT ANGLE OF CLETHODIM HERBICIDE ASSOCIATED WITH ADJUVANTS IN SOURGRASS ..	17
1.1 INTRODUCTION.....	18
1.2 MATERIAL AND METHODS	20
1.3 RESULTS AND DISCUSSION	23
1.4 CONCLUSIONS	31
REFERENCES.....	32
CAPÍTULO 2 - INTERFERÊNCIA DE ADJUVANTES ASSOCIADOS AO HERBICIDA CLETHODIM NO ESPECTRO DE GOTAS, DEPÓSITO E OCORRÊNCIA DE CHUVA APÓS APLICAÇÃO NO CONTROLE DE CAPIM-AMARGOSO	36
2.1 INTRODUÇÃO	38
2.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	39
2.2.1 CARACTERIZAÇÃO DA TECNOLOGIA DE APLICAÇÃO (ENSAIO 1).....	40
2.2.1.1 Espectro de gotas	40
2.2.1.2 Depósito da pulverização.....	41
2.2.2 INTERFERÊNCIA DA CHUVA NA EFICÁCIA DO HERBICIDA CLETHODIM ASSOCIADO A ADJUVANTES NO CONTROLE DE CAPIM-AMARGOSO (ENSAIO 2)	42
2.2.3 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS	43
2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	43
2.3.1 ESPECTRO DE GOTAS.....	43
2.3.2 DEPÓSITO DA PULVERIZAÇÃO.....	47
2.3.3 INTERFERÊNCIA DA CHUVA NA EFICÁCIA DO HERBICIDA CLETHODIM ASSOCIADO A ADJUVANTES NO CONTROLE DE CAPIM-AMARGOSO (ENSAIO 1)	48
2.3.4 INTERFERÊNCIA DA CHUVA NA EFICÁCIA DO HERBICIDA CLETHODIM ASSOCIADO A ADJUVANTES NO CONTROLE DE CAPIM-AMARGOSO (ENSAIO 2)	60
2.4 CONCLUSÕES	72

REFERÊNCIAS 73

CONSIDERAÇÕES FINAIS 79

REFERÊNCIAS 80

INTRODUÇÃO GERAL

O capim-amargoso, *Digitaria insularis* (L.) Fedde, é uma planta daninha de crescente importância nos sistemas de produção de diversas culturas, tornando-se um dos principais desafios enfrentados pelos agricultores (OVEJERO et al., 2017). Esta planta é considerada uma espécie de difícil controle devido à sua capacidade de se reproduzir tanto por sementes quanto por rizomas, além da adaptabilidade para germinar e crescer em uma ampla gama de condições do ambiente, e da seleção de biótipos resistentes ao glyphosate (MONDO et al., 2010; CARVALHO et al., 2011; MENDONÇA et al., 2014; GILO et al., 2016).

Devido à resistência desenvolvida pelo uso intensivo de herbicidas à base de glyphosate, uma alternativa viável consiste na aplicação de graminicidas, como os inibidores da ACCase, isoladamente ou em sequência, que melhoram o controle desta espécie (GAZZIERO et al., 2019). Segundo Barroso et al. (2014), herbicidas como clethodim e haloxyfop mostram boa eficiência no controle de capim-amargoso em estádios avançados de desenvolvimento. Entretanto, a atividade biológica do herbicida em pós-emergência, bem como a eficiência de controle das plantas daninhas pode ser afetada pelo estado morfológico da planta no momento do controle, além das condições ambientais durante a aplicação como, por exemplo, a ocorrência de chuvas (KUDSK et al., 1990).

Em alguns casos, uma precipitação de pequena intensidade após a aplicação pode ser benéfica, proporcionando umedecimento foliar e/ou melhor, redistribuição do herbicida na planta; contudo, chuvas que apresentam volume elevado podem reduzir a toxicidade do ingrediente ativo devido à lavagem da molécula que ainda não foi absorvida pela superfície foliar (PIRES et al., 2000). Assim, o período crítico entre a pulverização e a ocorrência de chuva varia com o tipo de formulação, a dose empregada, a solubilidade do produto na água, as espécies de plantas daninhas, suas condições de desenvolvimento e o volume de chuva (SOUZA, 2010).

Dessa forma, a tecnologia de aplicação de herbicidas é considerada um campo de estudos importante na busca pela otimização do controle das plantas daninhas. Dentre as ferramentas disponíveis, destaca-se o uso de adjuvantes utilizados em mistura em tanque, onde esses componentes podem modificar as características das gotas formadas, possibilitando a melhor deposição, distribuição sobre as plantas daninhas, além de reduzirem o potencial risco de deriva das

pulverizações, em função da mudança do espectro de gotas, proporcionando menores impactos ambientais ocasionados pelos herbicidas (CAVALIERI, 2017). Cunha et al. (2010) recomenda o uso de adjuvantes em conjunto com herbicida, com o objetivo de aumentar a deposição do produto sobre a superfície vegetal, minimizar perdas com deriva, além de reduzir o tempo de penetração.

Portanto, com o intuito de melhorar o entendimento das diferentes interações entre adjuvantes e o herbicida clethodim, no controle de capim-amargoso, foram desenvolvidos dois experimentos. No Capítulo 1, foram avaliados os parâmetros físico químicos de calda, como condutividade elétrica, pH e viscosidade, bem como a tensão superficial estática e o ângulo de contato formado pela aplicação da calda herbicida em folhas de capim-amargoso. No Capítulo 2, foram avaliados o espectro de gotas formado pelo herbicida clethodim isolado ou em associação com adjuvantes, o depósito da pulverização e, a influência da chuva após aplicação dos tratamentos no controle de espécies de capim-amargoso.

CAPÍTULO 1 - Physicochemical aspects and contact angle of clethodim herbicide associated with adjuvants in sourgrass

Aspectos físico-químicos e ângulo de contato do herbicida clethodim associado a adjuvantes em capim-amargoso

Luciano Del Bem Júnior^{1*}, Carlos Gilberto Raetano¹, Flavio Nunes da Silva¹, Gustavo Dario²,
Lucas da Silva Lopes¹

¹Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agronômicas (UNESP/FCA), Departamento de Proteção Vegetal, Botucatu, SP, Brasil. ORCID: 0000-0001-5996-9260; 0000-0001-8897-9310; 0000-0001-6215-5866; 0000-0003-3893-5795.

²Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agronômicas (UNESP/FCA), Departamento de Produção e Melhoramento Vegetal, Botucatu, SP, Brasil. ORCID: 0000-0002-4648-6881.

*Corresponding author: lucianojunior20@hotmail.com

ABSTRACT

The use of adjuvants together with ACCase-inhibiting herbicides is common practice however they can provide physicochemical changes to the spray solution as well as influence the spreading of drops on the plant surface. Thus, the objective of this study was to evaluate electrical conductivity, pH, viscosity, the static surface tension (SST) and the contact angle of drops of the herbicide clethodim associated with adjuvants on the leaf surface of *Digitaria insularis* (L.). The experiment was carried out in a completely randomized design, and the treatments used were clethodim (144 g a.i. ha⁻¹) associated or not with adjuvants. The addition of mixture propionic acid + soy lecithin adjuvant at the herbicide solution provided greater pH reduction and increased electrical conductivity. The silicone surfactant Silwet L-77 ensured the lowest value for the SST parameters and contact angle in *D. insularis* leaves. A strong positive correlation was found between the variables SST and contact angle for the herbicide clethodim associated with the analyzed adjuvants.

Keywords: *Digitaria insularis*; surfactante; mineral oil; superficial tension.

RESUMO

O uso de adjuvantes junto aos herbicidas inibidores da ACCase é prática comum, porém podem proporcionar alterações físico-químicas da calda bem como influenciar no espalhamento das gotas sobre a superfície vegetal. Assim, objetivou-se neste estudo avaliar a condutividade elétrica, pH, viscosidade, a tensão superficial estática (TSE) e o ângulo de contato de gotas do herbicida clethodim associado a adjuvantes sobre a superfície foliar de *Digitaria insularis* (L.). O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, e os tratamentos foram o herbicida clethodim (144 g i.a. ha⁻¹), associado ou não a adjuvantes. A adição do adjuvante ácido propiônico mais lecitina de soja à calda herbicida proporcionou maior redução do pH e aumento da condutividade elétrica. O surfatante siliconado Silwet L-77 assegurou o menor valor para os parâmetros TSE e ângulo de contato em folhas de *D. insularis*. Forte correlação positiva foi constatada entre as variáveis TSE e ângulo de contato para o herbicida clethodim associado aos adjuvantes em estudo.

Palavras-chave: *Digitaria insularis*; surfatante; óleo mineral; tensão superficial.

1.1 INTRODUCTION

The *Digitaria insularis* (L.) Fedde, popularly known as sourgrass, is a perennial plant belonging to the Poaceae family that, under Brazilian conditions, can appear and develop throughout the year (Martins; Barroso; Alves, 2017), showing increasing importance in the production systems of various crops, becoming one of the main challenges faced by farmers (Ovejero et al., 2017).

With the resistance developed by this species to glyphosate-based herbicides, combined with low control efficiency, a widely used alternative is the application of Acetyl Coenzyme-A Carboxylase (ACCase) inhibitor graminicides in post-emergence, alone or in sequence (Cassol et al., 2019). Carvalho; Andrade and Presoto (2019) found that the mixtures

of clethodim and haloxyfop were effective in controlling sourgrass in the tillering stage. Clethodim and quizalofop herbicides showed control of approximately 80 and 99%, respectively, when applied isolated to sourgrass plants, with 2 to 3 tillers (Gomes; Sambatti; Dalazen, 2020).

Most ACCase inhibitor herbicides recommend the use of oil adjuvants in a mixture, however, in practice, they are often replaced by products from other classes, such as surfactants, for example. Based on the assumption, it is extremely important to be aware of the interactions of these substances with the spray solution, as they can act differently from each other, in addition to promote changes in the physicochemical properties of the solution, such as reducing surface tension, increasing the contact surface with the biological target, droplet size modification and improved spray coverage and droplet spread (Castro et al., 2018; Cunha; Alves; Marques, 2017).

Another important factor related to the use of adjuvants is the interaction between drop and target, forming the contact angle between liquid and surface, which is dependent on the characteristics of the target surface (Santos; Ferreira; Viana, 2019). When measuring this variable, Law et al. (2014) considered that those with a value lower than 90° are characterized as a hydrophilic surface, between 90° and 145° as hydrophobic and greater than 145° as super-hydrophobic. Although the surfaces of the leaves vary in terms of hydrophilicity, the presence of a surfactant in the spray solution can, in addition to reducing the surface tension of the solution, dissolve the epicuticular waxes in the leaves and, consequently, increase the ability to spread the drops (Lin et al., 2016; Appah et al., 2020).

Furthermore, factors such as pH, electrical conductivity and viscosity can also be modified by the use of adjuvants (Machado et al., 2019). Second Cunha; Alves and Marques (2017), the dissociation constant of many molecules depends on the hydrogenic potential of the spray application, directly influencing absorption by plant tissues. In turn, electrical

conductivity is related to the concentration and charge of ions in the solution, inherent to the chemical composition of each products, as well as to the water used. (Zandonadi et al., 2017). Already the spray application with higher viscosity require more energy in the drop fragmentation process, generating spectrum with larger droplets and, consequently, reducing the risk of drift (Machado et al., 2019).

In Brazil, there are few studies related to the physicochemical characteristics of mixtures between herbicide and adjuvants. Thus, the objective of this study was to evaluate the electrical conductivity, pH, viscosity, static surface tension (SST) and the contact angle of the droplets with the herbicide clethodim associated with adjuvants, as well as how such variables can influence the performance of this herbicide on the surface foliar of *D. insularis*.

1.2 MATERIAL AND METHODS

The tests were carried out in the laboratory in 2020. The electrical conductivity, hydrogen potential (pH), viscosity, static surface tension (SST) and the contact angle of the spray application composed of the herbicide clethodim, associated or not with adjuvants, were evaluated (Table 1). For all products, the dose recommended by the manufacturers was used and, when informed in L ha^{-1} , it was converted to concentration ($\% \text{ v v}^{-1}$) and, for this, the application rate was set at 100 L ha^{-1} .

Table 1: Description of the products used in the experiment, according to information in the respective label.

Comercial name	Manufactur	Composition	Concentration a.i. (g L ⁻¹)	Dose (% v v ⁻¹)
Select [®]	UPL	Clethodim	240	0,60*
Agral [®]	Syngenta	Nonyl phenoxy poly (ethyleneoxy) ethanol	200	0,03
Argenfrut [®]	Agrovant	Hydrocarbons	845,75	0,50
Assist [®]	Basf	Hydrocarbons	756	0,50
Aureo [®]	Bayer	Methyl soybean oil ester (MSO)	720	0,10
Integrum [®]	Rizobacter	MSO + surfactants	ND	0,20*
JS	Solvay	Vegetable polymer	ND	0,10**
LI 700 [®]	De Sangosse	Soybean lecithin + propionic acid	712,88	0,50
Silwet L-77 [®]	Momentive	Polyester and silicone copolymer	1000	0,10
Veget'Oil [®]	Oxiquímica	Vegetable fatty acid esters	930	0,50
X1	Clariant	Vegetable oil + surfactants	ND	0,05
X2	Clariant	Vegetable oil + surfactants	ND	0,15
Wetcit Gold [®]	Oroagri	Orange peel oil	60	0,50

*The doses of herbicide Select[®] and adjuvant Integrum[®] are recommended in L ha⁻¹. **Dose expressed in g ha⁻¹.
ND: not declared by manufacturer.

The electrical conductivity of the solutions was measured by a digital conductivity meter (Marte[®], MB-11P) and the hydrogen ionic potential (pH) was measured directly using a digital bench scale meter (Quimis[®], Q400 AS). The equipment was previously calibrated using standard solutions provided by the equipment manufacturers and the measurement of the respective parameters was carried out immediately after the preparation of the mixtures. The viscosity of the solutions was evaluated using a Brookfield[®] LVDV-III + viscometer equipped with a 100 mm outer diameter cylinder (S-28 axis) with a rotation of 60 rpm, as described by Oliveira et al. (2015).

The surface tension of the spray solution of the respective treatments, as well as the contact angle on the adaxial surface of the leaves of *D. insularis*, were evaluated using a benchtop tensiometer, Contact Angle System model OCA 15 EC / B (Dataphysics[®]). The tensiometer was equipped with a high-speed and definition CCD camera, which captures the formation of drops with the aid of the SCA20 software, programmed to perform one reading per second in a total time of 60 s.

For the analysis of surface tension, the pendant drop method was used, where drops are formed with a volume of 3.5 μL at the tip of a needle (0.52 mm outside diameter) coupled to a Hamilton precision syringe[®] (500 μL), fixed to the tensiometer. For each spray solution, four drops were formed and analyzed by the software according to the Young-Laplace equation. The obtained surface tension values were expressed in mN m^{-1} . Images were captured and compared at times of 5 s, 60 s and the final mean of the values.

For the analysis of the contact angle, the same equipment was used, according to the methodology described by Decaro Junior; Ferreira and Lasmar (2015). The drops were dispensed in a fixed volume of 3.5 μL , having been previously selected to provide images with better quality by the camera, without influencing the characteristics of the spray solution.

As in the SST evaluation, the analyzes followed the same pattern of analysis time, at 5 s, 60 s and final mean of the values.

To standardize the target, the last fully expanded leaf was considered in *D. insularis* plants, with one tiller (20 to 30 cm), conducted in a greenhouse. After collection, the leaves were sectioned into longitudinal rectangles, measuring 5 cm² and placed in a press so that its adaxial surface was facing upwards.

The analysis followed a completely randomized design (DIC), with 14 treatments, in four replications. The variables electrical conductivity, pH, viscosity, SST and contact angle were submitted to analysis of variance by the F test and the means were compared by the Scott-Knott test ($p < 0.05$). The SST data and the contact angle of the respective tails were submitted to Pearson's linear correlation analysis (r) to verify the level of the relationship between these variables.

1.3 RESULTS AND DISCUSSION

The average values of electrical conductivity, pH, viscosity and surface tension of the spray application are shown in Tables 2 and 3. There was a significant difference for all variables, according to the F test ($p < 0.01$).

The addition of the adjuvants soybean lecithin associated with propionic acid (LI-700[®]) and orange peel oil (Wetcit Gold[®]) together with the herbicide solution promoted a significant increase in the values of electrical conductivity, with an increase of 64% and 61%, respectively, when compared to the herbicide clethodim (Table 2). Cunha; Alves and Marques (2017) found that among the aqueous solutions tested, the highest electrical conductivity was observed by the adjuvant phosphatidylcholine plus propionic acid (212.75 $\mu\text{S cm}^{-1}$), while the lowest was observed by mineral oil (6.25 $\mu\text{S cm}^{-1}$). Also according to the authors, the

propionic acid present in the LI-700[®] adjuvant, when in aqueous solution, ionizes, ensuring high values of electrical conductivity.

Table 2: Electrical conductivity, pH and viscosity values of solutions with the herbicide clethodim with or without adjuvants.

Treatment	Electrical conductivity ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	pH	Viscosity (mPa s)
Clethodim (C)	148.55 c	6.51 d	1.13 e
C + Agral	149.88 c	6.51 d	1.17 d
C + Argenfrut	150.45 c	6.44 d	1.15 e
C + Assist	150.75 c	6.32 e	1.20 c
C + Aureo	149.88 c	6.41 e	1.18 d
C + Integrum	150.18 c	6.49 d	1.21 c
C + JS	146.75 c	6.68 b	3.52 a
C + LI-700	244.65 a	3.57 f	1.24 b
C + Silwet L-77	149.10 c	6.58 c	1.17 d
C + Veget'Oil	149.18 c	6.45 d	1.22 c
C + X1	151.30 c	6.46 d	1.18 d
C + X2	150.05 c	6.54 c	1.18 d
C + Wetcit Gold	239.45 b	6.62 c	1.16 d
Water	151.35 c	8.35 a	1.01 f
$F_{\text{treatment}}$	4500.12**	3.71**	1.59**
CV (%)	1.03	0.40	0.45

**significant at 1% probability by the F test. Means followed by the same letter, lowercase in the column, do not differ from each other by the Scott-Knott test ($p < 0.05$). CV: coefficient of variation.

The other treatments did not show significant differences between them, remaining at intermediate levels and close to $150 \mu\text{S cm}^{-1}$, not differing from the values obtained by water, which demonstrates that the added adjuvants were not able to modify the conductivity of the spray application. Zandonadi et al. (2017) reported that this variable is related to the concentration and charge of ions in the solution, that is, the chemical composition of each product. According to Cunha; Alves and Reis (2010), ions such as Fe^{+3} and Al^{+3} , for example, can react with the herbicide, reducing its effectiveness. However, it is noteworthy that, with the purpose of simulating the reality of the field, the water used to prepare the spray application was collected from the distribution network in the city of Jaboticabal, SP, and presented a high conductivity value, with $151.35 \mu\text{S cm}^{-1}$, indicating a marked presence of ions in its composition.

Regarding pH, it is noted that all products added to water reduced the value of this variable, with emphasis on the adjuvants soybean lecithin plus propionic acid (LI-700®) (3.57), mineral oil (Assist®) (6.32) and soybean oil methyl ester (Aureo®) (6.41) which potentiated the decrease when compared to the herbicide solution without adjuvant (6.51) (Table 2). The propionic acid present in the LI-700® adjuvant acts as an acidifying agent, reducing the occurrence of alkaline hydrolysis of plant protection products sensitive to high pH (Cunha; Alves and Marques, 2017). Maciel et al. (2010) and Zandonadi et al. (2017) also demonstrated the potential of mineral oil used in mixture with herbicides in reducing the pH of the spray application.

In turn, the adjuvants vegetable polymer (JS), polyester and silicone copolymer (Silwet®), vegetable oil + surfactants (X2) and orange peel oil (Wetcit Gold®) increased the pH values in relation to the isolated herbicide in water. Machado et al. (2019) state that the pH of the spray application is a factor of fundamental importance, as it can affect the efficiency of the phytosanitary product, inducing the inactivation or degradation of active principles.

Cunha; Alves and Reis (2010) state that the rate of hydrolysis of some phytosanitary products decreases as the pH of the mixture decreases, which keeps the leaves moist for longer, as the leaf surface, which normally has a neutral pH, interacts with the product pH.

Falb; Bridges and Smith (1990) stated that clethodim is an unstable acid herbicide and its degradation increases with increasing spray application acidity. Also according to the authors, at neutral pH, no degradation of clethodim was observed and a total recovery was obtained, while at pH between 5.0 and 6.0 the herbicide recoveries decreased by 37% and 8%, respectively, after 20 hours. McMullan (1996) concluded that the effectiveness of the herbicides clethodim and tralkoxydin was affected by the pH of the spray solution. This fact can be justified due to the predominance of the ionized form of the molecule at the high pH of the syrup and the possible formation of sodium salts (Nalewaja; Matysiak; Szelezniak, 1994). On the other hand, Bridges (1989) verified that the pH of the herbicide solution, with the use of adjuvants, did not negatively influence the efficacy of the active ingredients sethoxydim and clethodim in the control of *Sorghum halepense* species.

The results obtained by the viscosity test showed a high increase in the values of this variable provided by the addition of adjuvants to the herbicide solution, with the exception of mineral oil (Argenfrut®) (Table 2). The vegetable polymer (JS) (3.52 mPa s), followed by the adjuvant treatment soy lecithin plus propionic acid (LI-700®) (1.17 mPa s) showed the highest levels for this variable. McMullan (2000) states that polymer-based adjuvants tend to change the viscoelastic properties of the spray, where the liquid tends to resist elongation and increase the shear rate. Schampheleire et al. (2009) also found that the addition of polymer-based adjuvants can significantly reduce drift by increasing viscosity. Cunha; Alves and Reis (2010) obtained significant results on the viscosity of mixtures containing the adjuvant phosphatidylcholine plus propionic acid. Thus, some adjuvants can change the viscosity of spraying solutions, where increasing this variable is considered an effective strategy to

minimize the occurrence of phenomenon such as drift, as they require more energy for spraying, producing larger drops (Machado et al., 2019; Oliveira; Antuniassi; Gandolfo, 2015; Madureira; Raetano; Cavaliere, 2015).

The surface tension decreased in values at both time intervals (5, 60 s and final average) for all grouts, when compared to water (Table 3). In general, the addition of pesticide to the water has the ability to reduce surface tension and increase the liquid's affinity with the surface (Melo et al., 2015; Cunha; Alves and Marques, 2017).

Table 3: Surface tension of the spray solutions containing the herbicide clethodim, with or without adjuvants, at 5 and 60 seconds, and average value.

Treatment	Surface tension (mN m ⁻¹)		
	5 s	60 s	Average
Clethodim (C)	36.74 d	34.72 b	35.46 b
C + Agral	34.77 e	32.99 d	33.60 c
C + Argenfrut	34.61 e	32.60 e	33.29 c
C + Assist	32.77 f	31.09 f	31.72 d
C + Aureo	38.15 b	33.99 c	35.68 b
C + Integrum	37.24 c	35.09 b	35.99 b
C + JS	37.16 c	34.85 b	35.70 b
C + LI-700	36.08 d	32.41 e	33.96 c
C + Silwet L-77	23.91 h	23.43 h	23.66 f
C + Veget'Oil	32.80 f	30.84 f	31.58 d
C + X1	34.19 e	33.21 d	33.58 c
C + X2	36.12 d	33.16 d	34.32 c
C + Wetcit Gold	29.95 g	29.79 g	29.90 e

Water	71.34 a	70.68 a	71.46 a
F _{treatment}	1509.90 **	2516.08 **	1657.68 **
CV (%)	1.48	1.22	1.48

**significant at 1% probability by the F test. Means followed by the same letter, lowercase in the column, do not differ from each other by the Scott-Knott test ($p < 0.05$). CV: coefficient of variation.

The mixture of clethodim plus organosiliconated surfactant (Silwet®), followed by the herbicide associated with orange peel oil (Wetcit Gold®) and clethodim plus mineral oil (Assist®) and vegetable oil (Veget'Oil®) showed the greatest reductions in the values of SST when compared to the isolated herbicide, in the average of the evaluation times. In turn, the adjuvants Aureo, Integrum and the polymer JS did not differ significantly from the isolated herbicide, indicating that there was no influence on this variable. Decreased surface tension can allow greater leaf moistening, facilitating the spread of spray droplets to target locations, improving the retention and absorption of the active ingredient by the plant and, consequently, the effectiveness of pest, disease and weed control (Baio; Gabriel; Camolese, 2015). However, it is worth noting that the effect of adjuvants in the spray application is directly dependent on the interaction with the herbicide and the target plant, as this can present changes in cell composition, cuticle and level of waxiness of the leaves, directly impacting absorption and translocation of the active ingredient.

Regarding the contact angle of the solutions in sourgrass leaves, a reduction in values can be observed for all the mixtures under test, in both time intervals (5, 60 s and final average), when compared to water (Table 4).

Table 4: Contact angle of grouts with the herbicide clethodim, with or without adjuvants, at 5 and 60 seconds after drop formation, and average value.

Treatment	Contact angle (°)		
	5 s	60 s	Média
Clethodim (C)	85.15 d	74.53 d	78.91 d
C + Agral	71.53 e	54.73 f	61.03 f
C + Argenfrut	84.29 d	60.31 e	68.90 e
C + Assist	66.89 f	46.96 g	55.76 g
C + Aureo	80.47 d	62.28 e	68.80 e
C + Integrum	100.96 c	83.53 c	91.52 c
C + JS	110.07 b	92.30 b	98.58 b
C + LI-700	96.15 c	77.43 d	86.37 c
C + Silwet L-77	48.92 h	0.00 i	0.00 i
C + Veget'Oil	73.17 e	47.96 g	57.54 g
C + X1	84.97 d	71.65 d	77.23 d
C + X2	100.49 c	82.25 c	89.99 c
C + Wetcit Gold	58.23 g	37.82 h	43.87 h
Water	147.10 a	142.79 a	145.45 a
$F_{\text{treatment}}$	142.48**	347.29**	367.31**
CV (%)	4.75	5.16	4.62

**significant at 1% probability by the F test. Means followed by the same letter, lowercase in the column, do not differ from each other by the Scott-Knott test ($p < 0.05$). CV: coefficient of variation.

The treatments clethodim plus organosilicate surfactant (Silwet®) and clethodim associated with orange peel oil (Wetcit Gold®) ensured the lowest contact angle values. Which were followed by clethodim plus mineral oil (Assist®) and clethodim plus vegetable

oil (Veget'Oil[®]), where they did not differ from each other, however, they showed a reduction of 29 and 27%, respectively, when compared to the herbicide spray without adjuvant. Contact angle values equal to 0.00 were also observed by Iost and Raetano (2010), when using an aqueous solution with the addition of an organosilicate surfactant (Silwet[®]) on a *Ipomoea* spp. and on a glass (hydrophilic) and aluminum surface (hydrophobic).

Calore et al. (2015) observed significant contact angle reduction values close to those obtained in the present work, of the glyphosate solution plus vegetable oil (Veget'Oil[®]) applied to *Ipomoea hederifolia* leaf, compared to the control treatment, containing only water and the treatment herbicide. Also according to the authors, in the field, where the sprayed droplets form a high contact angle, with the volume deposited in a small area on the surface of the leaves, there is a need to increase the application rate so that the leaves are efficiently covered with the drops. However, the use of a suitable adjuvant at the correct concentration can ensure a better spread of the drops on the surface of the leaves and, consequently, a reduction in the rate of application used.

When verifying the level of the relationship between the variables surface tension and droplet contact angle on *D. insularis* leaves, a high positive correlation was observed, according to the Pearson correlation coefficient, with values of 0.87; 0.84 and 0.83 for the times of 5 s, 60 s and average, respectively. This fact indicates that, if there is a reduction in the surface tension values of the spray solution, there will be a direct decrease in the contact angle of the drops formed on the surface of the sourgrass leaves, ensuring greater spread and distribution of the droplets on the leaf surface.

Thus, understanding the influence of adjuvants on the physicochemical characteristics of the spray application is necessary, as this factor can directly interfere in the entire spraying process, as well as in the herbicide-target interaction, modifying aspects such as availability of the active ingredient, coverage, spreading on the leaf surface, absorption and translocation.

However, it is noteworthy that the use of these substances will not always establish a favorable effect on the control of weeds, mainly due to the present variables, such as anatomical composition and epicuticular layer of the leaves and the mode of action of the herbicide.

1.4 CONCLUSIONS

The LI-700[®] adjuvant provides a greater reduction in pH, as well as a greater increase in the electrical conductivity of the spray solutions with the herbicide clethodim. The silicone surfactant Silwet L-77[®] and Wetcit Gold[®] ensure greater reduction in static surface tension and in the contact angle of the spray solution on sourgrass leaves, when combined with the herbicide clethodim. The strong positive correlation obtained by the variables SST and contact angle, through the use of adjuvants associated with the herbicide clethodim, may contribute to reductions in the rate of application of this herbicide in sourgrass.

AUTHORS CONTRIBUTION

Conceptual ideia: Del Bem Júnior, L.; Raetano, CG; Methodology design: Del Bem Júnior, L.; Silva, FN; Dario, G; Data collection: Del Bem Júnior; Silva, FN; Data analysis and interpretation: Del Bem Júnior, L.; Raetano, CG; Writing and editing: Del Bem Júnior, L.; Raetano, CG; Lopes, LS.

ACKNOWLEDGMENTS

This study was financed in part by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior- Brasil (CAPES) - Finance Code 001.

REFERENCES

APPAH, S. et al. Analysis of potential impact and phytotoxicity of surfactant-plant surface interaction in pesticide application. **Crop Protection**, 127(1):1-8, 2020.

BAIO, F. H. R.; GABRIEL, R. R. F.; CAMOLESE, H. D. A. S. Alteração das propriedades físico-químicas na aplicação contendo adjuvantes. **Brazilian Journal of Biosystems Engineering**, 9(2):151-161, 2015.

BRIDGES, D. C. Adjuvant and pH effects on sethoxydim and clethodim activity on rhizome johnsongrass (*Sorghum halepense*). **Weed Technology**, 3(4):615-620, 1989.

CALORE, R. A. et al. Distribution pattern, surface tension and contact angle of herbicides associated to adjuvants on spraying and control of *Ipomoea hederifolia* under rainfall incidence. **Engenharia Agrícola**, 35(4):756-768, 2015.

CARVALHO, S. J. P.; ANDRADE, J. F.; PRESOTO, J. C. Efficacy and interaction of haloxyfop-clethodim tank mixtures to post emergence control of sourgrass in Brazil. **International Journal of Agriculture Innovations and Research**, 8(2):115-121, 2019.

CASSOL, M. et al. Efficiency of isolated and associated herbicides to control glyphosate-resistant sourgrass. **Planta Daninha**, 37(1):1-8, 2019.

CASTRO, E. B. et al. Influence of adjuvants on the surface tension, deposition and effectiveness of herbicides on fleabane plants. **Planta Daninha**, 36(1):1-9, 2018.

CUNHA, J. P. A. R.; ALVES, G. S.; MARQUES, R. S. Tensão superficial, potencial hidrogeniônico e condutividade elétrica de caldas de produtos fitossanitários e adjuvantes. **Revista Ciência Agronômica**, 48(2):261-270, 2017.

CUNHA J. P. A. R.; ALVES, G. S.; REIS, E. F. Temperature effect on the physical-chemical characteristics of aqueous solutions with spray adjuvants. **Planta Daninha**, 28(3):665-672, 2010.

DECARO JUNIOR, S. T.; FERREIRA, M. C.; LASMAR, O. Physical characteristics of oily spraying liquids and droplets formed on coffee leaves and glass surfaces. **Engenharia Agrícola**, 35(3):588-600, 2015.

FALB, L. N.; BRIDGES, D. C.; SMITH, A. E. Effects of pH and adjuvants on clethodim photodegradation. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 38(3):875-878, 1990.

GOMES, H. L. L.; SAMBATTI, V. C.; DALAZEN, G. Sourgrass control in response to the association of 2,4-D to ACCase inhibitor herbicides. **Bioscience Journal**, 36(4):1126-1136, 2020.

IOST, C. A. R., RAETANO, C. G. Tensão superficial dinâmica e ângulo de contato de soluções aquosas com surfactantes em superfícies artificiais e naturais. **Engenharia Agrícola**, 30(4):670-680, 2010.

LAW, K. Y. Definitions for hydrophilicity, hydrophobicity, and superhydrophobicity: Getting the basics right. **Journal of Physical Chemistry Letters**, 5(4):686-688, 2014.

LIN, H. et al. Effect of surfactante concentration on the spreading properties of pesticide droplets on Eucalyptus leaves. **Biosystems Engineering**, 143(1):42-49, 2016.

OVEJERO, R. F. L. et al. Frequency and dispersal of glyphosate-resistant sourgrass (*Digitaria insularis*) populations across Brazilian agricultural production areas. **Weed Science**, 65(2):285-294, 2017.

MACHADO, W. A. et al. Effect of nozzles, application rates, and adjuvants on spray deposition in wheat crops. **Engenharia Agrícola**, 39(1):83-88, 2019.

MACIEL, C. D. G. et al. Tensão superficial estática de misturas em tanque de glyphosate + chlorimuron-ethyl isoladas ou associadas com adjuvantes. **Planta Daninha**, 28(3):673-685, 2010.

MADUREIRA, R. P.; RAETANO, C. G.; CAVALIERI, J. D. Interação pontas-adjuvantes na estimativa do risco potencial de deriva de pulverizações. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 19(2):180-185, 2015.

MARTINS, J. F.; BARROSO, A. A. M.; ALVES, P. L. C. A. Effects of environmental factors on seed germination and emergence of glyphosate resistant and susceptible sourgrass. **Planta Daninha**, 35(1):1-8, 2017.

MCMULLAN, P. M. Grass herbicide efficacy as influenced by adjuvant, spray solution pH, and ultraviolet light. **Weed Technology**, 10(1):72-77, 1996.

MCMULLAN, P. M. Utility adjuvants. **Weed Technology**, 14(4):792-797, 2000.

NALEWAJA, J. D.; MATYSIAK, R.; SZELEZNIAK, E. Sethoxydim response to spray carrier chemical properties and environment. **Weed Technology**, 8(3):591-597, 1994.

OLIVEIRA, R. B.; ANTUNIASSI, U. R.; GANDOLFO, M. A. Spray adjuvant characteristics affecting agricultural spraying drift. **Engenharia Agrícola**, 35(1):109-116, 2015.

SANTOS, R. T. S.; FERREIRA, M. C.; VIANA, R. G. Does the use of adjuvants alter surface tension and contact angle of herbicide spray droplets on leaves of *Sida* spp.? **Planta Daninha**, 37(1):1-10, 2019.

SCHAMPHELEIRE, M. et al. Effects on pesticide spray drift of the physicochemical properties of the spray liquid. **Precision Agriculture**, 10(5):409-420, 2009.

ZANDONADI, C. H. S. et al. Tank mixture of pesticides for *Spodoptera frugiperda* control in maize with triflumuron. **Bioscience Journal**, 33(1):31-40, 2017.

CAPÍTULO 2 - INTERFERÊNCIA DE ADJUVANTES ASSOCIADOS AO HERBICIDA CLETHODIM NO ESPECTRO DE GOTAS, DEPÓSITO E OCORRÊNCIA DE CHUVA APÓS APLICAÇÃO NO CONTROLE DE CAPIM- AMARGOSO

RESUMO

O uso de adjuvantes junto aos herbicidas inibidores da ACCase pode proporcionar alterações do espectro das gotas, deposição da calda sobre o alvo biológico além da minimização dos impactos oriundos de fatores ambientais, como a ocorrência de chuvas logo após a pulverização. Assim, objetivou-se neste estudo avaliar o efeito da associação de adjuvantes ao herbicida clethodim na caracterização da pulverização, bem como a interferência da ocorrência de chuva, em diferentes intervalos após aplicação, no controle de capim-amargoso. Para isso, dois experimentos foram conduzidos com o herbicida clethodim associado aos adjuvantes: Agral, Argenfrut, Assist, Aureo, Integrum, JS (polímero), LI-700, Silwet L-77, Veget'Oil, X1 (Óleo vegetal mais surfatantes), X2 (Óleo vegetal mais surfatantes) e Wetcit Gold. O experimento 1 consistiu na caracterização do espectro de gotas e deposição da calda em plantas de capim-amargoso. No experimento 2, avaliou-se o controle do capim-amargoso com chuva simulada de 10 mm, após a aplicação do herbicida, em cinco intervalos de tempo (30, 60, 120, 240 e 480 min) e sem a ocorrência da precipitação, em duas épocas de condução. Os adjuvantes não modificaram o espectro de gotas, com exceção do polímero JS, que apresentou os maiores valores para as variáveis DV_{01} , DV_{05} (DMV), DV_{09} e Span. Houve incremento na deposição da calda herbicida pelo acréscimo dos adjuvantes Assist, Aureo, Integrum, JS, LI-700 e Wetcit Gold. Os adjuvantes Argenfrut, Assist, Aureo, Integrum, Silwet L-77, X1 e X2, em associação com o herbicida clethodim, se mostraram mais eficientes no controle das plantas de capim-amargoso, mesmo com ocorrência de chuva 30 minutos após a aplicação.

Palavras-chave: *Digitaria insularis*; óleo mineral; diâmetro mediano volumétrico; intervalo de tempo de chuva.

**CHAPTER 2 - INTERFERENCE OF ADJUVANTS ASSOCIATED WITH
CLETHODIM HERBICIDE ON THE DROP SPECTRUM, SPRAY DEPOSIT AND
RAINFASTNESS IN SOURGRASS CONTROL**

ABSTRACT

Adjuvants in addition at the ACCase-inhibiting herbicides can provide changes in the spectrum of droplets, spray deposition on biological target, as well as to minimizing the impacts from environmental factors, such as the occurrence of rain after spraying. Thus, the aim of this study was to evaluate the effect of the adjuvants association to the clethodim herbicide in spray characterization, as well as the interference of rain at different intervals after application, in control of the sourgrass. For this, two experiments were carried out with the clethodim herbicide associated with the adjuvants: Agral, Argenfrut, Assist, Aureo, Integrum, JS (polymer), LI-700, Silwet L-77, Veget'Oil, X1 (Vegetable oil plus surfactants), X2 (Vegetable oil plus surfactants) and Wetcit Gold. Experiment 1 consisted of the droplet spectrum characterization and spray deposition on sourgrass plants. In the experiment 2, sourgrass control was evaluated with simulated rain of 10 mm, after herbicide application, in five time intervals (30, 60, 120, 240 and 480 min), and without the occurrence of precipitation, in two periods were conducted. The adjuvants did not change the droplet spectrum, with the exception of the JS polymer, which showed the highest values for the variables DV_{01} , DV_{05} (VMD), DV_{09} and Span. There was an increase on spray deposition by the addition of Assist, Aureo, Integrum, JS, LI-700 and Wetcit Gold adjuvants. The Argenfrut, Assist, Aureo, Integrum, Silwet L-77, X1 and X2 adjuvants in association with the clethodim herbicide proved to be more efficient in controlling sourgrass plants, even with the occurrence of rain 30 minutes after application.

Key words: *Digitaria insularis*; mineral oil; volumetric median diameter; rain time interval

2.1 INTRODUÇÃO

O capim-amargoso, *Digitaria insularis* (L.) Fedde, é uma planta daninha de crescente importância nos sistemas de produção de diversas culturas, tornando-se um dos principais desafios enfrentados pelos agricultores (LOPEZ OVEJERO et al., 2017). Esta planta é considerada uma espécie de difícil controle devido à sua capacidade de se reproduzir tanto por sementes quanto por rizomas, além da adaptabilidade para germinar e crescer em uma ampla gama de condições do ambiente, e da seleção de biótipos resistentes à herbicidas (MONDO et al., 2010; CARVALHO et al., 2011; MENDONÇA et al., 2014; GILO et al., 2016).

Devido à resistência desenvolvida pelo uso intensivo de herbicidas à base de glifosato, uma alternativa viável consiste na aplicação de graminicidas, como os inibidores da ACCase, isoladamente ou em sequência, que melhoram o controle desta espécie (GAZZIERO et al., 2019). Entretanto, a atividade biológica do herbicida em pós-emergência, bem como a eficiência de controle das plantas daninhas pode ser afetada pelo estado morfológico da planta no momento do controle, além das condições ambientais durante a aplicação como, por exemplo, a ocorrência de chuvas (KUDSK et al., 1990).

Uma rápida precipitação de poucos milímetros, em alguns casos, pode ser benéfica, proporcionando umedecimento e/ou melhor, redistribuição do herbicida na planta; contudo, chuvas que apresentam volume elevado logo após a aplicação, podem reduzir a toxicidade devido à lavagem do ingrediente ativo ainda não absorvido pela superfície foliar (PIRES et al., 2000). Assim, o período crítico entre aplicação do herbicida em pós-emergência das plantas daninhas e ocorrência de chuva varia com o tipo de formulação, a dose empregada, a solubilidade do produto na água, as espécies de plantas invasoras, suas condições de desenvolvimento e o volume de chuva (SOUZA, 2010).

Para minimizar os impactos supramencionados, a tecnologia de aplicação empregada busca a otimização do controle destas espécies através do uso de ferramentas como os adjuvantes em mistura em tanque. Esses componentes podem modificar as características das gotas, possibilitando alterações nos padrões de depósito e distribuição sobre as plantas, além de reduzirem o potencial risco de deriva das pulverizações (CAVALIERI, 2017). Cunha et al. (2010) recomenda o uso de adjuvantes em conjunto com herbicida, com o objetivo de aumentar a deposição

do produto sobre a superfície vegetal, minimizar perdas com deriva, além de reduzir o tempo de penetração.

Assim, sabe-se que há uma falta de informações com relação ao comportamento de produtos fitossanitários acerca das intempéries ocorridas no campo, bem como ferramentas que minimizam tais impactos. Portanto, os objetivos deste experimento foi a caracterização do espectro de gotas e deposição, bem como a interferência da ocorrência de chuva após aplicação do herbicida clethodim, associado a adjuvantes, no controle de capim-amargoso (*D. insularis*).

2.2 MATERIAL E MÉTODOS

Os ensaios foram realizados para avaliar a influência dos adjuvantes, associados ao herbicida clethodim sobre o espectro de gotas, deposição da pulverização e o controle de plantas de capim-amargoso após a ocorrência de chuva simulada em diferentes intervalos de tempo. A escolha do herbicida clethodim seguiu o padrão recomendado em campo e assegurado por estudos de Gemelli et al. (2013), onde verificaram satisfatórios níveis de controle do capim-amargoso após o uso deste produto.

Para a melhor organização e discussão dos dados, os experimentos com características similares foram agrupados, atribuindo-se as seguintes denominações: (1) caracterização da tecnologia de aplicação e (2) controle de *D. insularis* com diferentes intervalos de chuva após a aplicação.

Todos os ensaios seguiram o delineamento experimental inteiramente casualizado, onde o Ensaio 1 apresentou 13 tratamentos e cinco repetições e o Ensaio 2 constou de 13 tratamentos mais uma testemunha sem aplicação, com cinco repetições (Tabela 1). Para caracterizar melhor os diferentes adjuvantes utilizados, optou-se em apresentá-los, conforme suas composições, na Tabela 1.

Tabela 1 - Descrição dos tratamentos, nome comercial, fabricante, composição e a respectiva dose. Botucatu, SP, 2021.

Tratament o	Nome comercial	Fabricante	Composição	Dose (% v v ⁻¹)
1	Select®	UPL	Clethodim	0,60*
2	Agral®	Syngenta	Nonil fenoxi poli (etilenoxi) etanol	0,03
3	Argenfrut®	Agrovent	Hidrocarbonetos	0,50
4	Assist®	Basf	Hidrocarbonetos	0,50
5	Aureo®	Bayer	Éster metílico de óleo de soja (MSO)	0,10
6	Integrum®	Rizobacter	MSO + surfatantes	0,20*
7	JS®	Solvay	Polímero	0,10
8	LI-700®	De Sangosse	Lecitina de soja + ácido propiônico	0,50
9	Silwet L-77®	Momentive	Copolímero de poliéster e silicone	0,10
10	Veget'Oil®	Oxiquímica	Ésteres de ácidos graxos vegetal	0,50
11	X1®	Clariant	Óleo vegetal + surfatantes	0,05
12	X2®	Clariant	Óleo vegetal + surfatantes	0,15
13	Wetcit Gold®	Oroagri	Óleo de casca de laranja	0,50

*As doses do herbicida Select e do adjuvante Integrum são recomendadas em L ha⁻¹. A citação de nomes comerciais não indica recomendação ou consentimento do autor.

2.2.1 Caracterização da tecnologia de aplicação (Ensaio 1)

Dois ensaios foram realizados para caracterizar o efeito dos adjuvantes sobre as seguintes variáveis: (a) espectro de gotas e (b) depósito da pulverização. O ensaio “a” foi realizado em laboratório pertencente ao Núcleo de Estudos e Desenvolvimento em Tecnologia de Aplicação - NEDTA, do Departamento de Fitossanidade da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias - FCAV/UNESP, Campus de Jaboticabal – SP. Já o ensaio “b” procedeu-se no Laboratório de Tecnologia de Aplicação de Defensivos Agrícolas – PROTEC, do Departamento de Proteção Vegetal da Faculdade de Ciências Agrônômicas – FCA/UNESP, Campus de Botucatu – SP.

2.2.1.1 Espectro de gotas (a): foi avaliado pela técnica de difração da luz laser, pelo medidor de tamanhos de partículas em tempo real Mastersizer S (Malvern Instruments Ltda.), seguindo a mesma metodologia empregada por Costa et al. (2017) e DeBortoli et al. (2012). Para a realização da pulverização foram utilizadas as pontas de jato plano inclinado (J3D 10002 – Jacto) para operar na pressão de

137,93 kPa, a fim de obter vazão de 0,54 L min⁻¹. A escolha de tal ponta seguiu os padrões comumente observados no campo, onde as aplicações de herbicidas sistêmicos são realizadas, em sua grande maioria, com gotas de espectro médio à grossas.

O sistema porta-bicos do equipamento foi inclinado nas avaliações da ponta J3D 10002 (Jacto) de modo que o jato da pulverização ficasse paralelo ao sistema de captação, sem choque e interferência na lente do aparelho. A avaliação foi realizada em ambiente com as luzes apagadas durante as leituras, temperatura de 25 ± 2°C e umidade relativa do ar próximo a 55%, sem vento. Para a comparação dos tratamentos foram considerados os seguintes parâmetros: Dv₀₁; Dv₀₅ (DMV); Dv₀₉; amplitude relativa (Span) e a porcentagem de volume com gotas menores que 100 µm (potencial de deriva).

2.2.1.2 Depósito da pulverização (b): foi avaliado pelo marcador corante alimentício Azul Brilhante da marca Duas Rodas Industrial LTDA® (catalogado internacionalmente pela “Food, Drug & Cosmetic” como FD&C Blue n.1), na concentração de 0,15%, seguindo metodologia descrita por Palladini et al. (2005). Para a quantificação do depósito, imediatamente após a aplicação dos tratamentos foram coletadas aleatoriamente quatro folhas por repetição experimental, quando as plantas apresentavam entre 20 a 30 cm de altura, totalizando 20 pontos amostrais e, acondicionadas em sacos plásticos. Posteriormente foram adicionados 30 mL de água destilada à cada amostra e os sacos agitados manualmente por 30 segundos para remoção do marcador das folhas. A absorbância do líquido resultante da agitação foi determinada em espectrofotômetro, modelo Shimadzu UV 1601 PC®, no comprimento de onda de 630 nm. Em seguida, as folhas foram retiradas dos sacos plásticos e medida sua área com a utilização do equipamento da marca Licor, modelo LI-3100C Area Meter®, sendo as medidas de depósito transformadas e expressas em µL cm⁻². O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com 13 tratamentos, em cinco repetições. O ensaio seguiu o padrão do estudo de controle, onde apresentou duas repetições experimentais.

2.2.2 Interferência da chuva na eficácia do herbicida clethodim associado a adjuvantes no controle de capim-amargoso (Ensaio 2)

Foram utilizados como unidades experimentais vasos com capacidade de 0,5 L preenchidos com substrato comercial (Carolina Soil®), composto por turfa de esfagno, vermiculita expandida, calcário dolomítico, gesso agrícola e fertilizante NPK, conforme descrição do fabricante. As sementes de capim-amargoso foram semeadas inicialmente em bandeja com o respectivo substrato e, posteriormente transplantadas nos vasos, mantendo-se duas plantas. A aplicação do herbicida clethodim com os respectivos adjuvantes foi realizada no momento em que as plantas apresentavam entre 20 a 30 cm de altura (2 perfilhos).

O delineamento experimental adotado foi inteiramente casualizado (DIC) e, os tratamentos distribuídos no esquema fatorial 14 x 6 (catorze tratamentos e cinco intervalos de chuva mais a pulverização sem a ocorrência da precipitação), em cinco repetições, onde cada repetição foi constituída por um vaso. Os intervalos de tempo após a pulverização dos respectivos tratamentos para simulação da precipitação pluviométrica foram: sem chuva, 30, 60, 120, 240 e 480 min com uma lâmina de água equivalente a 10 mm, representando uma possível ocorrência de chuva no verão.

Para aplicação dos tratamentos foi utilizado um sistema de pulverização móvel com controle de velocidade de deslocamento e pressão, localizado no Laboratório de Tecnologia de Aplicação de Defensivos Agrícolas (FCA/UNESP), equipado com uma barra de pulverização contendo seis pontas J3D 10002 (Jacto®), espaçadas de 0,50 m e posicionadas de maneira alternada na barra, a 0,50 m de altura em relação às plantas. A pressão de trabalho foi de 137,93 kPa, pressurizado por ar comprimido e a velocidade de deslocamento de 6,48 km h⁻¹ para obter a taxa de aplicação de 100 L ha⁻¹. A chuva foi simulada utilizando-se o mesmo sistema, porém com uma segunda barra, constituída por quatro pontas de pulverização TK-SS-10 (Teejet®), espaçadas a 0,65 m, com altura de um metro com relação ao alvo. A fim de garantir maior uniformidade na distribuição da água, foi utilizado apenas uma ponta, com vazão de 0,98 L min⁻¹, mantendo os vasos enfileirados, totalizando 10 passadas do simulador, reguladas para produção de lâmina correspondente a 10 mm.

A eficiência dos tratamentos foi avaliada por meio de avaliação visual de controle aos 7, 14, 21 e 28 dias após a aplicação (DAA) dos tratamentos, atribuindo-

se notas de comparação com o tratamento sem aplicação do herbicida, considerando-se zero para ausência de sintoma (controle) e 100% para o controle total, representado pela morte da planta (SBCPD, 1995). Posteriormente, foi determinada a massa seca da parte aérea das plantas (MSPA) aos 28 DAA, seguida da secagem até peso constante em estufa de circulação de ar forçado a $65 \pm 5^\circ\text{C}$, e posterior aferição das massas em balança de precisão ($d = 0,0001 \text{ g}$).

2.2.3 Análise estatística dos dados

Nos ensaios 1 (“Caracterização da tecnologia de aplicação”) e 2 (“Interferência da chuva na eficácia do herbicida clethodim associado a adjuvantes no controle de capim-amargoso”) foi verificado a normalidade dos dados através do teste de Shapiro-Wilk ($p > 0,05$). Posteriormente, os valores foram submetidos à análise de variância e aplicação do teste F e, quando verificada a existência de diferenças significativas, comparou-se as médias pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade, com auxílio do software estatístico Sisvar®, versão 5.6 (FERREIRA, 2011). Para o ensaio de deposição da pulverização foi efetuada a análise conjunta dos dados das duas repetições experimentais, em épocas distintas, uma vez que a razão entre o maior e o menor quadrado médio residual não foi superior a sete (BANZATTO; KRONKA, 1995).

2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

2.3.1 Espectro de gotas

Os valores referentes ao diâmetro volumétrico acumulados de 10% (DV_{01}), 50% (DV_{05} ou DMV) e 90% (DV_{09}), além dos valores da amplitude relativa (Span) e potencial de deriva (porcentagem de gotas menor que $100 \mu\text{m}$), na caracterização do espectro de gotas provenientes do tratamento herbicida isolado e quando associado a adjuvantes, são descritos na Tabela 2.

Tabela 2 - Caracterização do espectro de gotas com a ponta de jato plano inclinado (J3D 10002 - Jacto), na pressão de 137,93 kPa (20 psi), quanto à porcentagem de volume acumulado, uniformidade (Span) e potencial de deriva. Botucatu, SP, 2021.

Tratamento	Dose (mL ha ⁻¹)	DV ₀₁	DV ₀₅	DV ₀₉	Span	% gotas ($< 100 \mu\text{m}$)
Clethodim (C)	600	107,59 b	264,21 b	481,06 b	1,41 b	8,61 b
C + Agral	600 + 30	106,28 b	266,71 b	489,50 b	1,44 b	8,89 b
C + Argenfrut	600 + 500	107,61 b	259,81 b	481,46 b	1,44 b	8,55 b
C + Assist	600 + 500	110,14 b	272,82 b	489,73 b	1,39 b	8,18 b
C + Aureo	600 + 100	102,21 b	262,70 b	482,37 b	1,45 b	9,65 b
C + Integrum	600 + 200	102,34 b	255,41 b	472,16 b	1,45 b	9,58 b
C + JS	600 + 100	166,82 a	533,25 a	1097,14 a	1,75 a	4,91 a
C + LI-700	600 + 500	98,43 b	255,01 b	462,16 b	1,43 b	10,48 b
C + Silwet L-77	600 + 100	105,27 b	260,78 b	485,43 b	1,46 b	9,06 b
C + Veget'Oil	600 + 500	100,54 b	270,80 b	489,28 b	1,44 b	10,01 b
C + X1	600 + 50	101,05 b	261,57 b	483,47 b	1,46 b	9,88 b
C + X2	600 + 150	101,72 b	267,38 b	493,91 b	1,47 b	9,86 b
C + Wetcit Gold	600 + 500	110,07 b	256,85 b	475,81 b	1,42 b	8,00 b
F _{trat}		19,40**	153,82**	448,51**	6,82**	4,40**
CV (%)		6,37	3,70	2,64	3,99	13,16

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. ^{ns} não significativo; * e ** significativo a 5% e 1% respectivamente.

Com relação aos valores de Dv_{01} , Dv_{05} (DMV) e Dv_{09} apenas o tratamento com o polímero JS apresentou valores significativamente superior, com 166,82, 533,25 e 1097,14 μm , respectivamente. Já os demais tratamentos, com o herbicida clethodim isolado e quando associado aos adjuvantes apresentaram valores similares para as variáveis supramencionadas, variando entre 98,43 e 110,14; 255,01 e 272,82 e 462,16 e 493,91 μm , respectivamente. Desta forma, com base nas informações do fabricante da ponta de pulverização avaliada neste ensaio, com sua taxa de fluxo nominal e pressão de trabalho, bem como com as respectivas caldas, foram produzidas gotas de tamanho médio, com um Dv_{05} (DMV) entre 236 e 340 μm , com exceção da mistura do herbicida clethodim mais o polímero JS, que apresentou gotas classificadas como extremamente grossas (533,25 μm) (AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL AND BIOLOGICAL ENGINEERING, 2009).

Vale ressaltar que as condições climáticas no momento da aplicação podem influenciar diretamente o espectro de gotas. Maciel et al. (2018) relataram que o aumento da velocidade do vento proporciona completa desorganização no tamanho e formação das gotas, reduzindo significativamente o Dv_{01} e aumentando o Dv_{05} (DMV). Griesang et al. (2017) afirmam que o uso de adjuvantes na calda de pulverização pode interferir significativamente no tamanho das gotas. Ainda segundo os autores, foi verificado aumento no tamanho das gotas pelo uso do óleo vegetal em comparação com surfatantes, óleo mineral e apenas água, o que contrariam os resultados obtidos neste trabalho, onde não foi constatado diferenças entre os adjuvantes oleosos utilizados em associação com o herbicida clethodim. Alternativamente, asseguram que o uso de fosfatidilcolina mais ácido propiônico e surfatantes interferiu de forma heterogênea no espectro de gotas, em função da ponta de pulverização avaliada. Assim, deve-se atentar para a importância da correta seleção do tamanho das gotas para determinados alvos biológicos (NEGRISOLI et al., 2021).

Para as variáveis Span e porcentagem de gotas abaixo de 100 μm , foi observado tendência similar aos parâmetros anteriores, onde apenas o tratamento com o herbicida clethodim associado ao polímero JS diferiu significativamente dos demais tratamentos, com 1,75 e 4,91%, respectivamente (Tabela 2). Os outros tratamentos avaliados não apresentaram diferenças

estatísticas, evidenciando a baixa influência dos adjuvantes estudados sobre as variáveis analisadas. Oliveira et al. (2015) verificaram que adjuvantes à base de polímero reduziram significativamente a deriva devido ao aumento da viscosidade da calda pulverizada. A viscosidade do líquido afeta a formação de gotículas menores pela resistência ao fluxo de ar devido à viscosidade extensional (SCHAMPHELEIRE et al., 2008). Outro ponto importante a ser destacado consiste no modo de ação do herbicida utilizado, uma vez que produtos fitossanitários sistêmicos possibilitam menor cobertura do alvo (CONTIERO et al., 2018) e, conseqüentemente, a pulverização pode ser realizada com gotas que variam de média a ultra grossas, garantindo a redução do risco de deriva, bem como menor impacto ambiental.

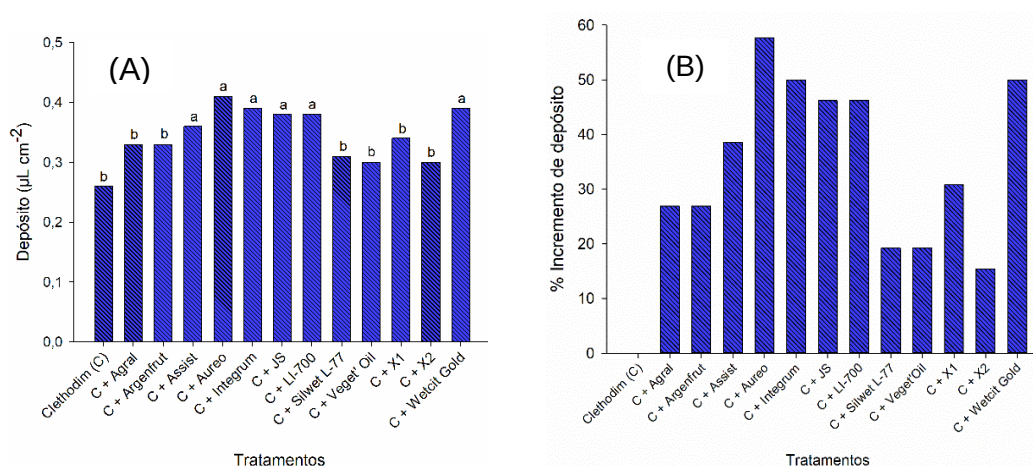
A correta mensuração da pulverização deve considerar o DV_{05} (DMV) bem como o índice Span, que consiste na caracterização da homogeneidade do espectro de gotas produzidas (COSTA et al., 2017). Ainda segundo os autores, quanto menor for o valor desta variável, maior será a homogeneidade do espectro, sendo, portanto, os valores tendendo a zero considerados mais homogêneos. Já com relação a porcentagem de gotas menores que 100 μm , pode-se afirmar que são um dos mais importantes fatores na interpretação do risco do potencial de deriva da pulverização (OLIVEIRA et al., 2015), onde valores abaixo de 15% são considerados os mais seguros para pulverização (CUNHA et al., 2003).

Desta forma, os valores obtidos para diâmetros volumétricos, Span e potencial de deriva são muito importantes para caracterizar a tecnologia de aplicação empregada, proporcionando melhor avaliação qualitativa da pulverização para comparações técnicas (NEGRISOLI et al., 2021). Além disso, Creech et al. (2015) relatam a importância de estudos como este, onde foi verificado os parâmetros relacionados ao espectro de gotas com a calda contendo o herbicida isolado ou associado aos adjuvantes, uma vez que classificações de tamanho de gota baseadas apenas na água podem ser usadas como guia, contudo, não são totalmente precisas ao aplicar herbicidas, haja visto que ocorrem alterações nas respectivas variáveis.

2.3.2 Depósito da pulverização

Os valores referentes ao depósito da pulverização ($\mu\text{L cm}^{-2}$), em plantas de capim-amargoso (*D. insularis*), após análise conjunta das duas repetições experimentais, são descritos na Figura 1.

Figura 1 - Depósito da pulverização ($\mu\text{L cm}^{-2}$) em plantas de capim-amargoso (A), bem como o incremento (%) de deposição oriundo do acréscimo dos respectivos adjuvantes à calda herbicida (B) com a ponta de jato plano inclinado (J3D 10002 - Jacto) na pressão de 137,93 kPa (20 psi) e taxa de aplicação de 100 L ha^{-1} . $F_{\text{trat}} = 5,2^{**}$; $\text{CV} = 18,1$. Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. ^{ns} não significativo; * e ** significativo a 5% e 1% respectivamente.



Os tratamentos que fizeram uso dos adjuvantes Assist, Aureo, Integrum, JS, LI-700 e Wetcit Gold proporcionaram os maiores valores de depósito nos dois ensaios realizados, com valores entre $0,35$ e $0,43 \mu\text{L cm}^{-2}$, representando aumento de até 57,7% quando comparado ao herbicida isolado. Tal fato evidencia o incremento da variável analisada pelo uso dos respectivos adjuvantes, contudo, vale ressaltar que isso não implica necessariamente na otimização do controle da espécie de planta daninha analisada, haja visto que variáveis como precipitação após a aplicação, temperatura, umidade relativa e características físico-químicas da calda podem influenciar diretamente no processo. Xu et al. (2010) afirmam que a elevada umidade relativa do ar pode acarretar em maior absorção e translocação dos herbicidas inibidores da ACCase, proporcionando maior eficiência de controle sobre a planta-alvo.

A adição do adjuvante fosfatidilcolina mais ácido propiônico (LI-700) proporcionou maior retenção de calda, nas folhas analisadas, o que assegura que esses produtos podem otimizar a aderência da calda de pulverização no interior do dossel (BUENO et al., 2013; RYCKAERT et al., 2007; VAN ZYL et al., 2010). Adjuvantes surfatantes podem interagir de diferentes maneiras com a calda de pulverização, podendo incrementar aspectos como penetração, espalhamento e aderência das gotas ao alvo (CUNHA et al., 2005). Porém, a saturação da superfície foliar pelas gotas em decorrência da diminuição da tensão superficial, proporcionada pelo surfatante e, posteriormente, o escorrimento do produto aplicado, pode acarretar numa menor deposição da calda sobre o alvo (PRADO et al., 2015).

Em contrapartida, Castro et al. (2017) verificaram que os tratamentos com saflufenacil e glifosato mais saflufenacil associado aos adjuvantes óleo mineral Assist, Dash ou o espalhante adesivo Aterbane aumentaram o depósito da pulverização sobre folhas de *Ipomoea grandifolia*, com 7 cm de altura, após a aplicação. Já Maciel et al. (2011) não observaram influência do uso dos adjuvantes Nimbus, Joint Oil, Naturl'Oil, Triunfo 515 e All Fix quando associados aos herbicidas glifosato mais clorimuron ou glifosato mais carfentrazone, sobre a deposição da calda em folhas de *Ipomoea grandifolia* e lâminas de vidro. Portanto, mesmo que não haja incremento do depósito sobre o alvo, o uso de adjuvantes, em especial os surfatantes, pode promover maiores níveis de cobertura (AGUIAR JÚNIOR et al., 2011; PRADO et al., 2015).

2.3.3 Interferência da chuva na eficácia do herbicida clethodim associado a adjuvantes no controle de capim-amargoso (Ensaio 1)

Aos 7 DAA, na ausência de chuva após aplicação, houve controle do capim-amargoso com os adjuvantes Assist (44,40%), Silwet L-77 (48,40%), Veget'Oil (47,00%) e X2 (46,20%), com superioridade de até 72% quando comparado ao uso do herbicida clethodim sem a presença de adjuvantes (28,00%) (Tabela 4). Nandula et al. (2007) afirmaram que a adição de adjuvantes ao herbicida clethodim aumenta potencialmente a eficácia do herbicida, diminuindo a exposição à luz ultravioleta, evitando sua decomposição em formas não fitotóxicas e aumentando sua absorção. Com a

precipitação, trinta minutos após a aplicação dos tratamentos, a associação de clethodim mais Silwet L-77 proporcionou maior valor de controle (48,00%), diferindo significativamente dos demais tratamentos. Dentre os tratamentos com maiores impactos negativos pela ocorrência de chuva 30 min. após a aplicação, destacaram-se o polímero JS (13,20%), o herbicida clethodim isolado (21,20%) e o espalhante adesivo Agral (31,60%).

Com a ocorrência de chuva uma e duas horas após aplicação, os tratamentos apresentaram comportamento semelhantes, onde a associação de clethodim mais Integrum e clethodim mais Silwet L-77 proporcionaram os maiores valores de controle, com 52,80% (60 min.) e 53,00% (120 min.) e 50,60% (60 min.) e 51,00% (120 min.), respectivamente. Já o polímero JS, seguido pelo herbicida isolado e quando associado ao espalhante Agral proporcionaram os menores valores de controle para os dois intervalos de tempo de precipitação. Na avaliação de controle, com ocorrência de chuva aos 240 e 480 minutos após a aplicação, foi mantido o padrão verificado anteriormente, com destaque para a associação do herbicida clethodim mais Integrum e Silwet L-77, os quais diferiram significativamente dos demais, apresentando os maiores valores.

De acordo com Stevens et al. (1989), os surfatantes organossilicones promovem a infiltração estomática devido a uma tensão superficial aquosa extremamente baixa e, se o herbicida entrar na cavidade estomática, não será lavado pela chuva. Alguns autores verificaram que o período sem chuva necessário para atingir o efeito máximo pode ser reduzido significativamente (ROGGENBUCK et al., 1990; FIELD; BISHOP, 1988). Contudo, pode-se enfatizar que na presença de surfatantes, a absorção de herbicidas depende de pelo menos três fatores, sendo eles as propriedades físico-químicas do ingrediente ativo, estruturas e concentração dos surfatantes e a característica da superfície foliar das espécies de plantas (LIU, 2004).

Tabela 4 - Controle visual (%) de capim-amargoso, com 2 perfilhos, aos 7 dias após a aplicação (DAA), com diferentes intervalos de chuva (Ensaio 1). Botucatu, SP, 2021.

Tratamento	Dose (mL ha ⁻¹)	Controle (%) – 7 DAA					
		Intervalo de chuva (min)					
		0	30	60	120	240	480
Clethodim (C)	600	28,00 cB	21,20 eD	26,00 eC	28,40 eB	29,00 cB	34,60 dA
C + Agral	600 + 30	43,40 bA	31,60 dB	32,80 dB	35,60 dB	46,20 bA	42,00 cA
C + Argenfrut	600 + 500	42,00 bA	43,40 bA	43,80 cA	43,80 bA	45,60 bA	46,80 bA
C + Assist	600 + 500	44,40 aA	39,60 cB	39,60 cB	45,00 bA	45,80 bA	47,20 bA
C + Aureo	600 + 100	41,40 bB	39,20 cB	40,20 cB	38,80 cB	43,00 bA	45,40 bA
C + Integrum	600 + 200	42,20 bB	39,80 cB	52,80 aA	53,00 aA	53,20 aA	55,00 aA
C + JS ¹	600 + 100	26,00 cA	13,20 fC	19,40 fB	21,80 fB	27,00 cA	30,00 eA
C + LI-700	600 + 500	40,00 bB	38,00 cB	40,60 cB	41,80 cB	44,40 bA	48,00 bA
C + Silwet L-77	600 + 100	48,40 aA	48,00 aA	50,60 aA	51,00 aA	52,00 aA	52,40 aA
C + Veget'Oil	600 + 500	47,00 aB	41,00 cC	45,00 bB	47,00 bB	46,00 bB	50,60 aA
C + X1 ²	600 + 50	42,40 bB	40,00 cB	40,40 cB	40,00 cB	42,00 bB	47,40 bA
C + X2 ²	600 + 150	46,20 aA	39,00 cB	46,00 bA	49,00 aA	46,00 bA	48,80 bA
C + Wetcit Gold	600 + 500	41,00 bB	37,00 cC	46,20 bA	45,00 bA	43,60 bA	46,00 bA
Testemunha	--	0,00 dA	0,00 gA	0,00 gA	0,00 gA	0,00 dA	0,00 fA
F _{trat}		610,11**					
F _{tempo}		69,59**					
F _{trat x tempo}		4,05**					
CV (%)		7,72					

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. ^{ns} não significativo; * e ** significativo a 5% e 1% respectivamente.

Vale destacar que, na primeira avaliação (7 DAA), apenas os tratamentos clethodim mais óleo mineral (Argenfrut) e clethodim mais o surfatante organossilicone Silwet L-77 não influenciaram no controle do capim-amargoso, quando houve a ocorrência de chuva após a aplicação nos diferentes intervalos de tempo. A resistência à chuva pelos herbicidas está relacionada à suscetibilidade do depósito a ser redissolvido e à taxa de absorção (MCCANN e WHITEHOUSE, 1983). As ciclohexanodionas, como clethodim e setoxidim, por exemplo, são resistentes à chuva em 2 horas, em comparação com certos herbicidas solúveis em água que podem levar mais de 6 horas para tornarem resistentes à chuva (KUDSK e KRISTENSEN, 1992).

Na avaliação realizada aos 14 DAA, sem a ocorrência de chuva após a aplicação, os adjuvantes Argenfrut, Assist, Aureo, Integrum, LI-700, Silwet L-77, Veget'Oil, X1 e X2 associados ao herbicida clethodim proporcionaram os maiores valores de controle das plantas de capim-amargoso, com incremento de até 13,9% quando comparado ao herbicida clethodim aplicado de maneira isolada (83,00%) (Tabela 5). No menor intervalo de chuva, aos 30 min após aplicação, foi mantida a relação verificada anteriormente, onde os tratamentos supramencionados garantiram valores entre 81,00 e 87,00%.

A avaliação de controle, com a ocorrência da precipitação uma hora após a aplicação, o adjuvante Integrum associado ao herbicida clethodim apresentou o maior valor (97,60%), diferindo significativamente dos demais. Já no intervalo de 120 minutos para ocorrência de chuva após a aplicação, os tratamentos Argenfrut (92,00%), Assist (91,60%) e Integrum (95,00%) proporcionaram os maiores valores de controle. Nos dois últimos intervalos de tempo de precipitação, aos 240 e 480 minutos após a aplicação, apenas o tratamento com o adjuvante Integrum assegurou os maiores valores de controle, com 99,00% e 97,60%, respectivamente.

As avaliações realizadas ao longo dos intervalos de tempo, para a ocorrência de chuva após a aplicação, indicaram que os tratamentos Argenfrut, Aureo, LI-700, X1 e X2 não diferiram quando comparados ao controle de planta de capim-amargoso sem a ocorrência de chuva, onde tal fato pode indicar a rápida capacidade de absorção do ingrediente ativo quando acompanhado de tais adjuvantes. Esse período crítico entre a aplicação do herbicida e a ocorrência de chuva pode variar em função de diversos fatores, como o

ingrediente ativo utilizado, dose empregada, tipo de formulação, adjuvantes, quantidade e intensidade da chuva e, ainda, a espécie de planta daninha (PEDRINHO JUNIOR et al., 2002; WERLANG et al., 2003). Deste modo, a otimização do controle proporcionado pelos adjuvantes pode estar relacionada ao aumento da molhabilidade da superfície, à redução de tensão superficial e ângulo de contato da gota, além da elevação da penetração cuticular (SHERRICK, 1986; KRUSE et al., 2000).

Tabela 5 - Controle visual (%) de capim-amargoso, com 2 perfilhos, aos 14 dias após a aplicação (DAA), com diferentes intervalos de tempo de chuva (Ensaio 1). Botucatu, SP, 2021.

Tratamento	Dose (mL ha ⁻¹)	Controle (%) – 14 DAA					
		Intervalo de chuva (min)					
		0	30	60	120	240	480
Clethodim (C)	600	83,00 bA	64,00 bB	69,00 cB	76,00 cA	80,00 cA	84,00 cA
C + Agral	600 + 30	76,00 cA	68,40 bB	71,00 cB	82,00 bA	80,40 cA	82,40 cA
C + Argenfrut	600 + 500	87,60 aA	83,60 aA	88,20 bA	92,00 aA	88,00 bA	93,00 bA
C + Assist	600 + 500	91,00 aA	85,40 aB	87,00 bB	91,60 aA	93,20 bA	98,00 aA
C + Aureo	600 + 100	90,00 aA	83,00 aA	88,80 bA	88,00 bA	89,40 bA	88,60 bA
C + Integrum	600 + 200	92,60 aA	85,40 aB	97,60 aA	95,00 aA	99,00 aA	97,60 aA
C + JS	600 + 100	73,80 cA	57,00 cC	64,00 dB	64,00 dB	69,00 dA	77,00 cA
C + LI-700	600 + 500	89,60 aA	82,00 aA	87,00 bA	87,00 bA	90,00 bA	90,00 bA
C + Silwet L-77	600 + 100	91,20 aA	87,00 aB	85,00 bB	82,60 bB	88,60 bA	92,60 bA
C + Veget'Oil	600 + 500	94,60 aA	81,00 aB	87,00 bB	88,60 bB	87,60 bB	96,00 aA
C + X1	600 + 50	91,00 aA	88,60 aA	87,20 bA	88,00 bA	88,20 bA	89,60 bA
C + X2	600 + 150	94,20 aA	87,00 aA	89,00 bA	88,00 bA	91,60 bA	94,20 aA
C + Wetcit Gold	600 + 500	76,00 cA	70,00 bB	73,00 cB	77,40 cA	78,40 cA	80,00 cA
Testemunha	--	0,00 dA	0,00 dA	0,00 eA	0,00 eA	0,00 eA	0,00 dA
F _{trat}		597,27**					
F _{tempo}		30,12**					
F _{trat x tempo}		1,63**					
CV (%)		6,81					

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. ^{ns} não significativo; * e ** significativo a 5% e 1% respectivamente.

Aos 21 DAA, os adjuvantes Argenfrut, Assist, Aureo, Integrum e X2, quando associados ao herbicida clethodim, garantiram os maiores valores de controle de plantas de capim-amargoso em todos os intervalos de tempo para ocorrência de chuva, com valores entre 90 e 100% (Tabela 6). Kudsk e Mathiassen (2007) afirmam que os adjuvantes podem superar as adversidades causadas por parâmetros variáveis, como as condições climáticas, que afetam a deposição e absorção do ingrediente ativo, uma vez que este efeito pode ser atribuído ao aumento geral na atividade do herbicida.

Já o clethodim, quando aplicado de maneira isolada, se mostrou suscetível à lavagem do ingrediente ativo, uma vez que apresentou os menores valores de controle em todos os intervalos de tempo de chuva, indicando sinergismo entre o produto fitossanitário e os respectivos adjuvantes em teste. Entretanto, cabe destacar que todos os tratamentos apresentaram eficiência de controle acima de 80%, indicando valor satisfatório (VITORINO et al., 2012), com exceção apenas ao clethodim com chuva simulada após a aplicação, nos intervalos de 30 e 60 minutos.

Tabela 6 - Controle visual (%) de capim-amargoso, com 2 perfilhos, aos 21 dias após a aplicação (DAA), com diferentes intervalos de tempo de chuva (Ensaio 1). Botucatu, SP, 2021.

Tratamento	Dose (mL ha ⁻¹)	Controle (%) – 21 DAA					
		Intervalo de chuva (min)					
		0	30	60	120	240	480
Clethodim (C)	600	87,00 bA	77,00 dB	76,40 cB	80,00 cB	83,00 cA	82,00 cA
C + Agral	600 + 30	84,00 bB	85,00 cB	87,80 bB	90,60 bA	90,00 bA	92,60 bA
C + Argenfrut	600 + 500	98,80 aA	99,60 aA	99,60 aA	98,20 aA	96,80 aA	98,20 aA
C + Assist	600 + 500	98,60 aA	96,80 aA	98,20 aA	98,40 aA	99,20 aA	99,60 aA
C + Aureo	600 + 100	97,20 aA	96,80 aA	94,20 aA	92,60 aA	97,40 aA	97,00 aA
C + Integrum	600 + 200	99,60 aA	95,60 aA	100,00 aA	98,80 aA	99,60 aA	99,20 aA
C + JS	600 + 100	92,20 aA	80,20 dC	87,00 bB	86,00 bB	86,60 cB	92,40 bA
C + LI-700	600 + 500	98,40 aA	91,00 bB	96,40 aA	95,00 aA	99,00 aA	97,60 aA
C + Silwet L-77	600 + 100	99,20 aA	94,80 bA	97,20 aA	95,20 aA	97,40 aA	99,00 aA
C + Veget'Oil	600 + 500	99,20 aA	92,00 bB	97,60 aA	98,00 aA	96,00 aA	99,20 aA
C + X1	600 + 50	97,20 aA	94,80 bA	95,40 aA	97,00 aA	98,00 aA	97,20 aA
C + X2	600 + 150	100,00 aA	99,60 aA	99,00 aA	99,00 aA	98,20 aA	100,00 aA
C + Wetcit Gold	600 + 500	84,20 bB	86,00 cB	88,20 bB	87,20 bB	92,20 bA	93,00 bA
Testemunha	--	0,00 cA	0,00 eA	0,00 dA	0,00 dA	0,00 dA	0,00 dA
F _{trat}		1266,17**					
F _{tempo}		9,98**					
F _{trat x tempo}		1,48**					
CV (%)		4,54					

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. ^{ns} não significativo; * e ** significativo a 5% e 1% respectivamente.

Na última avaliação realizada no primeiro ensaio, aos 28 DAA, foi constatada superioridade nos valores de controle em todos os intervalos de tempo de chuva para os adjuvantes Argenfrut, Assist, Aureo, Integrum, Silwet e X2, com níveis próximos a 100%, indicando não haver influência da precipitação ocorrida sobre o controle das espécies de capim-amargoso (Tabela 7). Já o herbicida clethodim aplicado isoladamente e quando associado ao polímero JS promoveram menor desempenho pela ocorrência de chuva após a aplicação nos intervalos de 30, 60, 120 e 240 min., contudo, equipararam o desempenho junto ao demais tratamentos no intervalo de 480 min. Porém, vale ressaltar que todos os tratamentos analisados nos respectivos intervalos de precipitação garantiram eficiência de controle superiores a 80% para o capim-amargoso.

A via de translocação do herbicida está relacionada à sua afinidade por um ambiente lipofílico ou hidrofílico, determinada por um coeficiente de partição octanol-água (K_{ow}) e à solubilidade em água em equilíbrio com o potencial de ionização (pK_a) (CASSOL et al., 2019). O clethodim tem ação mais rápida quando comparado ao haloxifope, por exemplo, mas com menor capacidade de se deslocar para o rizoma (BARROSO et al., 2015). Essa ação mais rápida se deve à maior lipofilicidade do clethodim quando comparado ao haloxifope ($\log K_{ow} = 4,17$ e $4,08$, respectivamente). Desta forma, as plantas absorvem rapidamente herbicidas com caráter mais lipofílico (RODRIGUES e ALMEIDA, 2011) e são mais propensos a manter um equilíbrio mais rápido entre a translocação via xilema e floema e, portanto, têm mobilidade limitada no floema (OLIVEIRA JÚNIOR et al., 2011).

Tabela 7 – Controle visual (%) de capim-amargoso, com 2 perfilhos, aos 28 dias após a aplicação (DAA), com diferentes intervalos de tempo de chuva (Ensaio 1). Botucatu, SP, 2021.

Tratamento	Dose (mL ha ⁻¹)	Controle (%) – 28 DAA					
		Intervalo de chuva (min)					
		0	30	60	120	240	480
Clethodim (C)	600	91,00 cC	84,00 eD	90,00 cC	94,60 bB	96,00 bB	99,60 aA
C + Agral	600 + 30	96,60 bA	88,00 dB	94,40 bA	95,80 bA	95,00 bA	97,40 aA
C + Argenfrut	600 + 500	100,00 aA	100,00 aA	100,00 aA	100,00 aA	100,00 aA	100,00 aA
C + Assist	600 + 500	100,00 aA	98,00 aA	98,80 aA	99,60 aA	100,00 aA	100,00 aA
C + Aureo	600 + 100	99,20 aA	99,20 aA	98,40 aA	99,20 aA	100,00 aA	100,00 aA
C + Integrum	600 + 200	100,00 aA	98,80 aA	100,00 aA	100,00 aA	100,00 aA	100,00 aA
C + JS	600 + 100	98,00 bA	87,00 dD	88,80 cD	92,00 cC	93,80 bB	98,00 aA
C + LI-700	600 + 500	100,00 aA	91,00 cB	100,00 aA	100,00 aA	100,00 aA	100,00 aA
C + Silwet L-77	600 + 100	100,00 aA	98,00 aA	98,60 aA	100,00 aA	100,00 aA	100,00 aA
C + Veget'Oil	600 + 500	100,00 aA	94,00 bB	98,00 aA	100,00 aA	100,00 aA	100,00 aA
C + X1	600 + 50	99,60 aA	93,00 cB	98,60 aA	99,00 aA	99,20 aA	100,00 aA
C + X2	600 + 150	100,00 aA	98,00 aA	100,00 aA	100,00 aA	100,00 aA	100,00 aA
C + Wetcit Gold	600 + 500	97,00 bA	92,00 cB	98,00 aA	98,00 aA	98,20 aA	98,00 aA
Testemunha	--	0,00 dA	0,00 fA	0,00 dA	0,00 dA	0,00 cA	0,00 bA
F _{trat}		4023,01**					
F _{tempo}		46,18**					
F _{trat x tempo}		3,71**					
CV (%)		2,50					

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. ^{ns} não significativo; * e ** significativo a 5% e 1% respectivamente.

Com relação à massa seca da parte aérea (MSPA) de plantas de *Digitaria insularis* aos 28 DAA, os tratamentos Argenfrut, Assist, Aureo, Integrum, LI-700, Silwet L-77, Veget'Oil, X1, X2 e Wetcit Gold proporcionaram os menores valores para a respectiva variável em todos os intervalos de ocorrência de chuva após a aplicação, com redução de até 82% quando comparada à testemunha sem aplicação (Tabela 8). Já o herbicida clethodim quando utilizado de maneira isolada e quando associado ao espalhante adesivo Agral e ao polímero JS conferiram os maiores valores de MSPA dentre os tratamentos que fizeram uso do produto fitossanitário.

Tabela 8 - Massa seca de parte aérea (MSPA), aos 28 dias após a aplicação dos tratamentos (Ensaio 1). Botucatu, SP, 2021.

Tratamento	Dose (mL ha ⁻¹)	Massa seca de parte aérea (g) – 28 DAA					
		Intervalo de chuva (min)					
		0	30	60	120	240	480
Clethodim (C)	600	0,6503 bA	0,7550 bA	0,6699 bA	0,6455 bA	0,6646 bA	0,6324 bA
C + Agral	600 + 30	0,6207 bA	0,7392 bA	0,6405 bA	0,6317 bA	0,6261 bA	0,6073 bA
C + Argenfrut	600 + 500	0,4157 cA	0,5711 cA	0,5213 cA	0,4778 cA	0,4160 cA	0,4183 cA
C + Assist	600 + 500	0,4279 cA	0,5443 cA	0,5449 cA	0,5277 cA	0,4451 cA	0,3915 cA
C + Aureo	600 + 100	0,4676 cA	0,4870 cA	0,4707 cA	0,4569 cA	0,4583 cA	0,4688 cA
C + Integrum	600 + 200	0,4287 cA	0,5376 cA	0,3996 cA	0,4020 cA	0,3983 cA	0,3852 cA
C + JS	600 + 100	0,8009 bA	0,8505 bA	0,7811 bA	0,7984 bA	0,7690 bA	0,7651 bA
C + LI-700	600 + 500	0,5409 cA	0,5855 cA	0,5207 cA	0,5289 cA	0,5259 cA	0,4803 cA
C + Silwet L-77	600 + 100	0,4151 cA	0,5035 cA	0,4067 cA	0,4143 cA	0,3034 cA	0,3748 cA
C + Veget'Oil	600 + 500	0,4582 cA	0,4939 cA	0,4499 cA	0,4168 cA	0,4215 cA	0,3270 cA
C + X1	600 + 50	0,4586 cA	0,4999 cA	0,4503 cA	0,3300 cA	0,4169 cA	0,4134 cA
C + X2	600 + 150	0,4428 cA	0,5173 cA	0,4643 cA	0,4653 cA	0,4513 cA	0,4478 cA
C + Wetcit Gold	600 + 500	0,5139 cA	0,6007 cA	0,5758 cA	0,5440 cA	0,5328 cA	0,5261 cA
Testemunha	--	2,1992 aA	2,1993 aA	2,1993 aA	2,1992 aA	2,1992 aA	2,1992 aA
F _{trat}		298,20**					
F _{tempo}		4,26 ^{ns}					
F _{trat x tempo}		0,23 ^{ns}					
CV (%)		22,95					

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. ^{ns} não significativo; * e ** significativo a 5% e 1% respectivamente. ¹JS: Adjuvante a base de polímero fabricado pela Solvay.

2.3.4 Interferência da chuva na eficácia do herbicida clethodim associado a adjuvantes no controle de capim-amargoso (Ensaio 2)

O controle das plantas de capim-amargoso, aos 7 DAA, sem a ocorrência de chuva, não apresentou diferenças estatísticas entre os tratamentos químicos, com valores médios próximos à 30% (Tabela 9). Com a ocorrência de chuva meia hora após a aplicação dos tratamentos, os adjuvantes Agral (28,00%), Aureo (30,00%), Integrum (30,00%), LI-700 (28,00%), Silwet L-77 (30,00%), X1 (34,00%), X2 (32,00%) e Wetcit Gold (34,00%) proporcionaram os maiores valores de controle, diferindo significativamente dos demais. Contudo, destacam-se com perdas de eficiência quando comparado ao tratamento sem chuva apenas o óleo mineral Argenfrut, e os adjuvantes Veget'Oil e X2. Hess e Falk (1990) afirmam que antes de apresentar ação fitotóxica, o herbicida deve ser absorvido via apoplasto e/ou simplasto e alcançar o seu sítio de ação, geralmente localizado no interior de uma organela. No entanto, após atingir a superfície foliar, o ingrediente ativo está sujeito a outros destinos, como o escorrimento, lavagem pela ocorrência de chuva, secagem e formação de substância amorfa, cristalização após a evaporação do solvente ou, ainda, penetrar na cutícula e permanecer retido nela, não sendo translocado (WERLANG et al., 2003).

Quando houve a ocorrência de chuva uma hora após a aplicação, não foi observado diferença significativa entre os tratamentos que fizeram uso do herbicida clethodim, com valores entre 28,00 e 36,00%. Barnes e Oliver (2004) verificaram falhas no controle de capim massambará (*Sorghum halepense*), com associação de glifosato e setoxidim, quando houve chuvas simulada 90 minutos após a aplicação, ocorrida em dois anos experimentais. Ainda, de acordo com os autores, os herbicidas não tiveram tempo adequado para penetrar na planta, em uma concentração suficiente para alcançar o controle ideal. As avaliações de controle realizadas nos períodos com ocorrência de chuva duas e quatro horas após a aplicação, indicaram maior valor para a associação do herbicida clethodim ao adjuvante X2 (40,00%). Os demais tratamentos químicos não diferiram entre si, com valores próximos a 30,00%. Já no último intervalo de tempo de chuva, com oito horas após a aplicação, não houve diferenças significativas entre os tratamentos que fizeram uso do herbicida, indicando a baixa influência do adjuvante no controle.

Tabela 9 - Controle visual (%) de capim-amargoso, com 2 perfilhos, aos 7 dias após a aplicação (DAA), com diferentes intervalos de tempo de chuva (Ensaio 2). Botucatu, SP, 2021.

Tratamento	Dose (mL ha ⁻¹)	Controle (%) – 7 DAA					
		Intervalo de chuva (min)					
		0	30	60	120	240	480
Clethodim (C)	600	30,00 aA	24,00 bA	28,00 aA	30,00 bA	34,00 bA	30,00 aA
C + Agral	600 + 30	30,00 aA	28,00 aA	30,00 aA	30,00 bA	30,00 bA	30,00 aA
C + Argenfrut	600 + 500	34,00 aA	24,00 bB	28,00 aB	30,00 bA	32,00 bA	34,00 aA
C + Assist	600 + 500	28,00 aB	24,00 bB	34,00 aA	26,00 bB	26,00 bB	30,00 aA
C + Aureo	600 + 100	32,00 aA	30,00 aA	28,00 aA	32,00 bA	32,00 bA	34,00 aA
C + Integrum	600 + 200	34,00 aA	30,00 aA	32,00 aA	32,00 bA	32,00 bA	30,00 aA
C + JS	600 + 100	30,00 aA	24,00 bA	30,00 aA	30,00 bA	30,00 bA	32,00 aA
C + LI-700	600 + 500	32,00 aA	28,00 aA	30,00 aA	30,00 bA	30,00 bA	32,00 aA
C + Silwet L-77	600 + 100	30,00 aA	30,00 aA	30,00 aA	32,00 bA	30,00 bA	32,00 aA
C + Veget'Oil	600 + 500	32,00 aA	22,00 bB	32,00 aA	30,00 bA	32,00 bA	32,00 aA
C + X1	600 + 50	34,00 aA	34,00 aA	30,00 aA	30,00 bA	30,00 bA	30,00 aA
C + X2	600 + 150	36,00 aA	32,00 aB	36,00 aA	40,00 aA	40,00 aA	30,00 aB
C + Wetcit Gold	600 + 500	30,00 aA	34,00 aA	30,00 aA	30,00 bA	30,00 bA	30,00 aA
Testemunha	--	0,00 bA	0,00 cA	0,00 bA	0,00 cA	0,00 cA	0,00 bA
F _{trat}		103,12**					
F _{tempo}		5,19**					
F _{trat x tempo}		1,44*					
CV (%)		15,87					

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. ^{ns} não significativo; * e ** significativo a 5% e 1% respectivamente.

Aos 14 DAA, sem a ocorrência de chuva após a aplicação, os tratamentos com clethodim associado aos adjuvantes Integrum (80,00%), LI-700 (80,00%) e Wetcit Gold (80,00%) garantiram os maiores valores de controle, diferindo significativamente dos demais (Tabela 10). Na sequência, os tratamentos Assist (75,00%), Silwet L-77 (75,00%) e X2 (75,00%) asseguraram valores intermediários e próximos a 75,00%. Os menores valores dentre os tratamentos químicos foram proporcionados pelo herbicida isolado (55,00%) e pelo herbicida associado ao espalhante adesivo Agral (45,00%). Nandula et al. (2007) verificaram que a adição de adjuvante a qualquer formulação de clethodim causou aumento na absorção do ingrediente ativo quando comparado ao herbicida isolado, em plantas de grama seda (*Cynodon dactylon*); entretanto, ainda segundo os autores, a maior parte da molécula absorvida (79 a 100%) permaneceu na folha tratada. Culpepper et al. (1999) e Campbell e Penner (1987) afirmam que os herbicidas do grupo químico das ciclohexanodionas são tipicamente absorvidos rapidamente, contudo, apresentam pouca translocação para fora da área tratada.

No intervalo para ocorrência de chuva de 30 minutos após a aplicação, os tratamentos Integrum (70,00%), LI-700 (75,00%) e Silwet L-77 (70,00%) proporcionaram os maiores valores de controle, todavia, cabe destacar que apenas os adjuvantes polímero JS e Silwet L-77 não apresentaram redução de controle quando houve a precipitação no respectivo intervalo de tempo. Já a avaliação no intervalo de uma hora entre a aplicação e a simulação de chuva, apenas o tratamento LI-700 (80,00%) assegurou maior valor de controle, diferindo significativamente dos demais. Pode-se observar que os tratamentos com o herbicida aplicado de maneira isolada (50,00%) e quando associado ao espalhante adesivo Agral (55,00%), Argenfrut (60,00%), JS (60,00%) e X1 (60,00%) são menos suscetíveis à ação da chuva, com os menores valores de controle. Miller et al. (1998) relataram redução drástica no controle capim massambará (*Sorghum halepense*) pelo herbicida glifosato, quando a chuva ocorreu dentro de uma hora após a aplicação.

Na avaliação realizada com intervalo de duas horas entre a ocorrência de chuva e a aplicação, foi verificada otimização de controle pelos adjuvantes Integrum (75,00%), LI-700 (75,00%), Silwet L-77 (75,00%), Veget'Oil (75,00%) e X2 (77,00%), com os maiores valores de controle. Já na avaliação realizada

com quatro horas após aplicação dos tratamentos, os maiores níveis de controle foram obtidos pelo uso do óleo mineral Assist (75,00%), LI-700 (75,00%), Veget'Oil (75,00%), X2 (76,00%) e Wetcit Gold (80,00%). Vale destacar que para os adjuvantes Assist e Wetcit Gold este foi o intervalo de tempo mínimo onde os valores de controle não diferiram estatisticamente da aplicação sem simulação de chuva após a aplicação, indicando assim, o tempo necessário para que ocorra a eficiência esperada do ingrediente ativo.

Já no último período de chuva após a aplicação, com 8 horas, apenas os adjuvantes Integrum (80,00%), LI-700 (80,00%), X2 (80,00%) e Wetcit Gold (80,00%) garantiram controle igual a 80%, sendo superiores aos demais tratamentos. No entanto, Feng et al. (2000) relatam que a absorção e a translocação do herbicida são limitadas pelo volume que atravessa a cutícula das folhas, e isso é significativamente influenciada pelas condições climáticas, estrutura molecular da planta daninha, espécies e características dos herbicidas e seus adjuvantes.

Tabela 10 – Controle visual (%) de capim-amargoso, com 2 perfilhos, aos 14 dias após a aplicação (DAA), com diferentes intervalos de tempo de chuva (Ensaio 2). Botucatu, SP, 2021.

Tratamento	Dose (mL ha ⁻¹)	Controle (%) – 14 DAA					
		Intervalo de chuva (min.)					
		0	30	60	120	240	480
Clethodim (C)	600	55,00 eB	45,00 cD	50,00 eC	50,00 dC	55,00 dB	60,00 cA
C + Agral	600 + 30	45,00 fB	40,00 dC	55,00 eB	55,00 cB	60,00 cA	60,00 cA
C + Argenfrut	600 + 500	70,00 cA	60,00 bC	60,00 dC	65,00 bB	65,00 cB	75,00 bA
C + Assist	600 + 500	75,00 bA	65,00 bB	70,00 cB	70,00 bB	75,00 aA	70,00 bA
C + Aureo	600 + 100	70,00 cA	60,00 bB	65,00 cB	70,00 bA	68,00 cA	72,00 bA
C + Integrum	600 + 200	80,00 aA	70,00 aB	70,00 bB	75,00 aB	72,00 bB	80,00 aA
C + JS	600 + 100	65,00 dC	60,00 bC	60,00 dC	60,00 cC	66,00 cB	70,00 bA
C + LI-700	600 + 500	80,00 aA	75,00 aB	80,00 aA	75,00 aB	75,00 aB	80,00 aA
C + Silwet L-77	600 + 100	75,00 bA	70,00 aA	72,00 bA	75,00 aA	70,00 bA	75,00 bA
C + Veget'Oil	600 + 500	70,00 cA	60,00 bC	65,00 cB	75,00 aA	75,00 aA	75,00 bA
C + X1	600 + 50	70,00 cA	60,00 bB	60,00 dB	65,00 bA	72,00 bA	70,00 bA
C + X2	600 + 150	75,00 bA	65,00 bC	70,00 bB	77,00 aA	76,00 aA	80,00 aA
C + Wetcit Gold	600 + 500	80,00 aA	65,00 bC	75,00 bB	75,00 aB	80,00 aA	80,00 aA
Testemunha	--	0,00 gA	0,00 eA	0,00 fA	0,00 eA	0,00 eA	0,00 dA
F _{trat}		748,07**					
F _{tempo}		63,49**					
F _{trat x tempo}		3,46**					
CV (%)		6,30					

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. ^{ns} não significativo; * e ** significativo a 5% e 1% respectivamente.

Na avaliação aos 21 DAA, sem a ocorrência de chuva após a aplicação, o tratamento clethodim associado ao adjuvante X2 assegurou o maior valor de controle, com 100%, diferindo dos demais (Tabela 11). Na sequência, os tratamentos Integrum (90,00%), LI-700 (90,00%) e Wetcit Gold (90,00%) garantiram valores intermediários de controle de plantas de *D. insularis*. Na avaliação realizada aos trinta minutos entre a aplicação e a ocorrência de chuva, foi mantido o padrão verificado anteriormente, com destaque para o adjuvante X2, que obteve 95,00% de controle, seguido por Integrum (80,00%), LI-700 (80,00%), Silwet L-77 (75,00%) e Wetcit Gold (78,00%). Vale destacar que a aplicação do herbicida isolado e quando associado ao espalhante adesivo Agral proporcionou os menores valores de controle em plantas de capim-amargoso nos respectivos intervalos de tempo de chuva. Trabalho conduzido por Villiers et al. (2001) demonstrou que a chuva simulada trinta minutos após a aplicação de tralcoxidima reduziu significativamente seu desempenho, no controle de *Avena sativa*.

Nos intervalos de uma e duas horas para ocorrência de chuva após a aplicação, o adjuvante X2 proporcionou o valor máximo de controle (100%) de plantas de capim-amargoso. Já os valores intermediários foram obtidos pelos adjuvantes Argenfrut, Integrum, LI-700, Silwet L-77, Veget'Oil e Wetcit Gold, com níveis de controle variando entre 75 e 85,00%. Jordan et al. (1990) relataram aumento nas taxas de absorção de setoxidim quando aplicado com adjuvante a base de óleo metilado de soja e sulfato de amônio, em capim-colchão (*Digitaria sanguinalis*). Culpepper et al. (1999) relataram que o adjuvante óleo metilado de soja ocasionou maior absorção de clethodim em plantas de capim-arroz (*Echinochloa crusgalli*). Nandula et al. (2007) afirmam que o aumento da absorção de clethodim na presença de um adjuvante contribuiu diretamente para o aumento da translocação do ingrediente ativo em parte aérea, quando comparado à aplicação isolada, 72 horas após a aplicação.

Já quando foram avaliados os valores de controle nos intervalos de quatro e oito horas para ocorrência de chuva após a aplicação, o adjuvante X2 associado ao herbicida clethodim manteve a totalidade de controle das respectivas plantas, com 100%, seguido pelo uso do óleo da casca da laranja, Wetcit Gold, com 86 e 92,00%, respectivamente. Cabe ressaltar que, com

exceção do adjuvante X2, todos os demais tratamentos químicos reduziram sua eficácia de controle quando houve a simulação de chuva após a aplicação. Burke e Wilcut (2003) relataram que a absorção de clethodim aumentou de 36% quando houve chuva meia hora após a aplicação para 89% quando a precipitação ocorreu 96 h após a pulverização do herbicida, em plantas de capim pé-de-galinha (*Eleusine indica*).

Tabela 11 – Controle visual (%) de capim-amargoso, com 2 perfilhos, aos 21 dias após a aplicação (DAA), com diferentes intervalos de tempo de chuva (Ensaio 2). Botucatu, SP, 2021.

Tratamento	Dose (mL ha ⁻¹)	Controle (%) – 21 DAA					
		Intervalo de chuva (min)					
		0	30	60	120	240	480
Clethodim (C)	600	65,00 eB	60,00 dC	70,00 cB	80,00 bA	80,00 cA	75,00 dA
C + Agral	600 + 30	55,00 fC	50,00 eC	65,00 cB	65,00 dB	65,00 eB	75,00 dA
C + Argenfrut	600 + 500	80,00 cB	70,00 cC	78,00 bB	85,00 bB	85,00 bA	80,00 cB
C + Assist	600 + 500	82,00 cA	70,00 cB	75,00 bB	75,00 cB	70,00 dB	80,00 cA
C + Aureo	600 + 100	82,00 cA	75,00 cB	80,00 bA	75,00 cB	80,00 cA	80,00 cA
C + Integrum	600 + 200	90,00 bA	80,00 bB	80,00 bB	85,00 bA	80,00 cB	80,00 cB
C + JS	600 + 100	75,00 dA	65,00 cB	70,00 cB	65,00 dB	75,00 cA	80,00 cA
C + LI-700	600 + 500	90,00 bA	80,00 bB	80,00 bB	85,00 bB	80,00 cB	81,00 cB
C + Silwet L-77	600 + 100	85,00 cA	75,00 bB	75,00 bB	80,00 bA	80,00 cA	75,00 dB
C + Veget'Oil	600 + 500	85,00 cA	70,00 cC	78,00 bB	82,00 bA	80,00 cA	85,00 cA
C + X1	600 + 50	80,00 cA	70,00 cB	70,00 c B	75,00 cB	77,00 cA	75,00 dB
C + X2	600 + 150	100,00 aA	95,00 aA	100,00 aA	100,00 aA	100,00 aA	100,00 aA
C + Wetcit Gold	600 + 500	90,00 bA	78,00 bC	80,00 bC	82,00 bC	86,00 bB	92,00 bA
Testemunha	--	0,00 gA	0,00 fA	0,00 dA	0,00 eA	0,00 fA	0,00 eA
F _{trat}		818,08**					
F _{tempo}		37,54**					
F _{trat x tempo}		4,52**					
CV (%)		6,93					

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. ns não significativo; * e ** significativo a 5% e 1% respectivamente.

Na última avaliação do segundo ensaio, aos 28 DAA, foi constatado maior controle de plantas de capim-amargoso quando não houve chuva após a aplicação para os tratamentos que fizeram uso dos adjuvantes Argenfrut (100,00%), X2 (100,00%) e Wetcit Gold (100,00%) (Tabela 12). Jordan et al. (1996) sugerem que o controle de *Echinochloa crusgalli* com clethodim pode ser obtido de maneira mais eficiente quando aplicado com adjuvantes contendo um constituinte de óleo metilado de soja ou mineral. Ainda segundo os autores, embora o herbicida aplicado com surfatantes não-iônicos convencionais e à base de silicone controlassem as gramíneas em alguns casos, especialmente quando aplicado a 140 g i. a. ha⁻¹, sua eficácia foi inconsistente.

Vale destacar que dentre os tratamentos que fizeram uso do herbicida clethodim, os menores níveis de controle foram obtidos quando o produto fitossanitário foi aplicado de maneira isolada (90,00%) e quando associado ao espalhante adesivo Agral (75,00%) e ao polímero JS (83,00%). A avaliação realizada com a ocorrência de chuva aos trinta minutos após a aplicação evidenciou decréscimo de controle em todos os tratamentos quando comparados ao período sem precipitação. Já os tratamentos com maior eficiência de controle foram os adjuvantes Veget'Oil (90,00%), X2 (92,00%) e Wetcit Gold (95,00%) associados ao herbicida clethodim.

No intervalo de uma hora para ocorrência de chuva após a aplicação foi mantido o padrão verificado anteriormente, com maior eficiência de controle para os tratamentos X2 (95,00%) e Wetcit Gold (95,00%). Vale destacar que o herbicida isolado, ou associado aos adjuvantes Agral, Argenfrut e Assist apresentaram melhora na performance de controle quando foi elevado o intervalo de trinta minutos para uma hora, entre a aplicação e a chuva simulada. No intervalo de duas e quatro horas para ocorrência de chuva após a aplicação, os maiores valores de controle foram obtidos com os adjuvantes Wetcit Gold (100,00%) e X2 (100,00%), respectivamente. Já na avaliação realizada com o maior intervalo entre a chuva e a aplicação, 480 minutos, foi mantida a relação supramencionada, com destaque para os adjuvantes X2 e Wetcit Gold, que apresentaram 95,00% de controle. Entretanto, vale mencionar que desde o intervalo de chuva com uma hora após a aplicação todos os tratamentos químicos apresentaram eficiência de controle igual ou acima de 80,00%, indicando bom desempenho do herbicida.

Tabela 12 - Controle visual (%) de capim-amargoso, com 2 perfilhos, aos 28 dias após a aplicação (DAA), com diferentes intervalos de tempo de chuva (Ensaio 2). Botucatu, SP, 2021.

Tratamento	Dose (mL ha ⁻¹)	Controle (%) – 28 DAA					
		Intervalo de chuva (min.)					
		0	30	60	120	240	480
Clethodim (C)	600	90,00 dB	80,00 cC	90,00 bB	90,00 bB	95,00 bA	82,00 cC
C + Agral	600 + 30	75,00 fB	77,00 cB	83,00 cA	85,00 cA	80,00 dA	85,00 cA
C + Argenfrut	600 + 500	100,00 aA	85,00 bC	90,00 bB	90,00 bB	90,00 cB	85,00 cC
C + Assist	600 + 500	90,00 cA	75,00 cC	80,00 cB	80,00 dB	85,00 cA	87,00 cA
C + Aureo	600 + 100	85,00 dA	80,00 cB	80,00 cB	82,00 dB	85,00 cA	80,00 cB
C + Integrum	600 + 200	95,00 bA	85,00 bB	85,00 cB	90,00 bA	85,00 cB	85,00 cB
C + JS	600 + 100	83,00 eB	78,00 cC	83,00 cB	82,00 dB	87,00 cA	90,00 bA
C + LI-700	600 + 500	90,00 cA	80,00 cB	85,00 cB	85,00 cB	92,00 bA	83,00 cB
C + Silwet L-77	600 + 100	90,00 cA	80,00 cB	80,00 cB	88,00 cA	83,00 dB	80,00 cB
C + Veget'Oil	600 + 500	95,00 bA	90,00 aB	90,00 bB	90,00 cB	90,00 cB	90,00 bB
C + X1	600 + 50	85,00 eB	80,00 cB	80,00 cB	87,00 cA	85,00 cA	90,00 bA
C + X2	600 + 150	100,00 aA	92,00 aB	95,00 aA	92,00 bB	100,00 aA	95,00 aA
C + Wetcit Gold	600 + 500	100,00 aA	95,00 aB	95,00 aB	100,00 aA	95,00 bB	95,00 aB
Testemunha	--	0,00 gA	0,00 dA	0,00 dA	0,00 eA	0,00 eA	0,00 dA
F _{trat}		1177,15**					
F _{tempo}		30,52**					
F _{trat x tempo}		4,26**					
CV (%)		5,70					

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. ^{ns} não significativo; * e ** significativo a 5% e 1% respectivamente.

Desta forma, a absorção e a translocação do herbicida são limitadas pelo volume que atravessa a cutícula das folhas, e isso é significativamente influenciado pelas condições climáticas, estrutura molecular da planta daninha e características dos herbicidas e seus adjuvantes, presentes na formulação ou na calda aplicada (FENG et al., 2000). Assim, a adição destes produtos pode elevar a absorção do ingrediente ativo, porém sua concentração deve ser bem estudada, pois podem ocorrer reduções no controle em função de elevadas doses utilizadas, reduzindo a translocação do herbicida (SHERRICK et al., 1986).

Na última avaliação de controle, realizada aos 28 DAA, foi mensurada a massa seca de parte aérea de plantas de capim-amargoso nos diferentes intervalos de chuva após a aplicação. Não houve diferença significativa para esta variável em função dos diferentes adjuvantes acrescidos à calda herbicida (Tabela 13). Segundo Machado et al. (2006) o capim-amargoso tem a capacidade de produzir grande quantidade de massa seca por planta chegando a níveis máximos de 30,66 gramas aos 105 dias após a emergência. Ramos et al. (2019) não verificaram diferenças no acúmulo de matéria seca ao final do ciclo de avaliações de controle de *Senna obtusifolia*, nos primeiros períodos de desenvolvimento, após a aplicação do herbicida aminopiralde mais fluroxipir associado aos adjuvantes óleo mineral, surfatantes organossiliconado e fosfatidilcolina mais ácido propiônico.

Tabela 13 - Massa seca de parte aérea (MSPA) em gramas, aos 28 dias após a aplicação dos tratamentos em *Digitaria insularis* (Ensaio 2). Botucatu, SP, 2021.

Tratamento	Dose (mL ha ⁻¹)	Massa seca de parte aérea (g) – 28 DAA					
		Intervalo de chuva (min.)					
		0	30	60	120	240	480
Clethodim (C)	600	0,7273 bA	0,9725 bA	0,8439 bA	0,9483 bA	0,7187 bA	0,8484 bA
C + Agral	600 + 30	0,7895 bA	0,8936 bA	0,8169 bA	0,8980 bA	0,8984 bA	0,8752 bA
C + Argenfrut	600 + 500	0,7319 bA	0,9968 bA	0,9147 bA	0,8623 bA	0,9256 bA	0,8769 bA
C + Assist	600 + 500	0,8081 bA	0,9999 bA	0,9336 bA	0,8023 bA	0,8524 bA	0,8680 bA
C + Aureo	600 + 100	0,5560 bA	0,9519 bA	0,8562 bA	0,8965 bA	0,6325 bA	0,8406 bA
C + Integrum	600 + 200	0,6369 bA	0,9328 bA	0,8722 bA	0,7532 bA	0,8739 bA	0,8891 bA
C + JS	600 + 100	0,8695 bA	0,9644 bA	0,9559 bA	0,7777 bA	0,7625 bA	0,7945 bA
C + LI-700	600 + 500	0,9480 bA	1,0044 bA	0,9558 bA	0,8821 bA	0,9064 bA	0,7444 bA
C + Silwet L-77	600 + 100	0,8294 bA	0,9117 bA	0,7933 bA	0,8943 bA	0,8976 bA	0,8924 bA
C + Veget'Oil	600 + 500	0,6590 bA	0,8626 bA	0,7833 bA	0,8092 bA	0,7814 bA	0,7435 bA
C + X1	600 + 50	0,6689 bA	0,9164 bA	0,8888 bA	0,9049 bA	0,9125 bA	0,8482 bA
C + X2	600 + 150	0,8452 bA	1,0779 bA	0,8380 bA	0,9908 bA	0,7590 bA	0,7598 bA
C + Wetcit Gold	600 + 500	0,8936 bA	1,0120 bA	0,9534 bA	0,7759 bA	0,7746 bA	0,6465 bA
Testemunha	--	4,6783 aA	4,6783 aA	4,6783 aA	4,6783 aA	4,6783 aA	4,6783 aA
F _{trat}		268,36**					
F _{tempo}		2,27 ^{ns}					
F _{trat x tempo}		0,26 ^{ns}					
CV (%)		30,43					

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. ^{ns} não significativo; * e ** significativo a 5% e 1% respectivamente.

2.4 CONCLUSÕES

No geral, o acréscimo de adjuvantes ao herbicida clethodim não interfere no espectro de gotas geradas quando comparado ao espectro de gotas produzidas somente com o herbicida, caracterizados pela formação de gotas de tamanho médio. Entretanto, o uso do polímero JS quando associado ao herbicida clethodim proporciona menor homogeneidade do espectro de gotas, a elevação do DMV, embora reduza o potencial risco de deriva (porcentagem de gotas menores que 100 μm);

Há incremento na deposição da calda herbicida sobre folhas de *D. insularis* pelo uso dos adjuvantes Assist, Aureo, Integrum, JS, LI-700 e Wetcit Gold, contudo, não há relação direta do depósito com os níveis de controle desta planta daninha;

A aplicação somente do herbicida clethodim é comprometida pela ocorrência de chuva até uma hora após a aplicação, reduzindo diretamente sua eficiência de controle em plantas de *D. insularis*;

Aos 28 dias após a aplicação do herbicida clethodim sobre *D. insularis*, independente do adjuvante associado ao herbicida e da presença de chuva, todos os tratamentos proporcionaram níveis de controle desta planta daninha superiores a 80%.

REFERÊNCIAS

AGUIAR-JÚNIOR, H. O. Adjuvantes e assistência de ar em pulverizador de barras sobre a deposição da calda e controle de *Phakopsora pachyrhizi* (Sydow & Sydow). **Summa Phytopathologica**, v. 37, n. 3, p. 103-109, 2011.

AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL AND BIOLOGICAL ENGINEERING. ASABE S572. **Spray nozzle classification by droplet spectra**. St. Joseph, 2009. 8 p.

BANZATTO, D. A.; KRONKA, S. N. **Experimentação Agrícola**. 3. Ed. Jaboticabal: Funep, 1995. 247 p.

BARNES, J. W.; OLIVER, L. R. Cloransulam antagonizes annual grass control with aryloxyphenoxypropionate graminicides but not Cyclohexanediones. **Weed Technology**, v. 18, n. 3, p. 763-772, 2004.

BARROSO, A. A. M. et al. Does sourgrass leaf anatomy influence glyphosate resistance? **Comunicata Scientiae**, v. 6, n. 4, p. 445-453, 2015.

BURKE, I. C.; WILCUT, J. W. Physiological basis for antagonism of clethodim by imazapic on goosegrass (*Eleusine indica* (L.) Gaertn.). **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 76, n. 2, p. 37-45, 2003.

CAMPBELL, J. R.; PENNER, D. Retention, absorption, translocation, distribution of sethoxydim in monocotyledonous and dicotyledonous plants. **Weed Research**, v. 27, n. 3, p. 179-186, 1987.

CASTRO, E. B. et al. Deposição da calda e eficácia de controle de glyphosate e saflufenacil associados a adjuvantes. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 16, n. 2, p. 103-111, 2017.

CONTIERO, R. L. et al. Tecnologia de Aplicação. In: BRANDÃO FILHO, J. U. T. et al. **Compilados Hortaliças-fruto [online]**. Maringá: EDUEM, p. 401-449, 2018.

CASSOL, M. et al. Efficiency of isolated and associated herbicides to control glyphosate-resistant sourgrass. **Planta Daninha**, v. 37, n. 1, p. 1-8, 2019.

COSTA, L. L. et al. Droplet spectra and surface tension of spray solutions by biological insecticide and adjuvants. **Engenharia Agrícola**, v. 37, n. 2, p. 292-301, 2017.

COSTA, N. V. et al. pH foliar e deposição de gotas de pulverização em plantas daninhas aquáticas: *Brachiaria mutica*, *Brachiaria subquadrifida* e *Panicum repens*. **Planta Daninha**, v. 23, n. 2, p. 295-304, 2005.

CREECH, C. F. et al. Influence of herbicide active ingredient, nozzle type, orifice size, spray pressure, and carrier volume rate on spray droplet size characteristics. **Weed Technology**, v. 29, n. 1, p. 298-310, 2015.

CULPEPPER, A. S. et al. Influence of adjuvants and bromoxynil on absorption of clethodim. **Weed Technology**, v. 13, n. 1, p. 536-541, 1999.

CUNHA, J. P. A. R. et al. Avaliação de estratégias para a redução da deriva de agrotóxicos em pulverizações hidráulicas. **Planta Daninha**, v. 21, n. 2, p. 325-32, 2003.

DEBORTOLI, M. P. et al. Espectro de gotas de pulverização e controle da ferrugem-asiática-da-soja em cultivares com diferentes arquiteturas de planta. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, n. 7, p. 920-927, 2012.

FENG, C. C. P. et al. Retention, uptake, and translocation of ¹⁴C-glyphosate from trackspray applications and correlation to rainfastness in velvetleaf (*Abutilon theophrasti*). **Weed Technology**, v.14, n.1, p.127-132, 2000.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.

FIELD, R. J.; BISHOP, N. G. Promotion of stomatal infiltration of glyphosate by an organosilicone surfactant reduces the critical rainfall period. **Pesticide Science**, v. 24, n.1, p. 55 -62, 1988.

GEMELLI, A. et al. Estratégias para o controle de capim-amargoso (*Digitaria insularis*) resistente ao glyphosate na cultura milho safrinha. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 12, n. 2, p. 162-170, 2013.

GRIESANG, F. et al. How much do adjuvant and nozzles models reduce the spraying drift in agricultural spraying. **American Journal of Plant Sciences**, v. 8, n. 11, p. 2785-2794, 2017.

HESS, F. D.; FALK, R. H. Herbicide deposition on the leaf surface. **Weed Science**, v. 38, n. 3, p. 280-288, 1990.

KRUSE, D. N. et al. Herbicidas inibidores da EPSPS: Revisão de literatura. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 1, n. 2, p. 139- 144, 2000.

KUDSK, P.; KRISTENSEN, J. L. Effect of environmental factors on herbicide performance. In: **Proceedings of the First International Weed Control Congress**, p. 173-186, 1992.

KUDSK, P.; MATHIASSEN, S. K. Analysis of adjuvant effects and their interactions with variable application parameters. **Crop Protection**, v. 26, n. 3, p. 328-334, 2007.

JORDAN, D. L. et al. Effect of ammonium sulfate and bentazon on sethoxydim absorption. **Weed Technology**, v. 3, n. 1, p. 674–677, 1989.

JORDAN, D. L. et al. Influence of adjuvants on efficacy of clethodim. **Weed Technology**, v. 10, n. 4, p. 738-743, 1996.

LIU, Z. Effects of surfactants on foliar uptake of herbicides – a complex scenario. **Colloids and Surfaces B: Biointerfaces**, v. 35, n. 3, p. 149-153, 2004.

MACHADO, A. F. L. et al. Análise de crescimento de *Digitaria insularis*. **Planta Daninha**, v. 24, n. 4, p. 641- 647, 2006.

MACIEL, C. D. G. et al. Eficiência e qualidade da aplicação de misturas em tanque com adjuvantes na dessecação de corda-de-viola. **Engenharia Agrícola**, v. 31, n. 4, p. 704-715, 2011.

MACIEL, C. F. S. et al. Droplet spectrum of a spray nozzle under different weather conditions. **Revista Ciências Agronômica**, v. 49, n. 3, p. 430-436, 2018.

McCANN, A. W.; WHITEHOUSE, P. A review of environment formulation interactions in relation to foliar persistence, uptake and translocation of herbicides. **Aspects of Applied Biology**, v. 4, n. 1, p. 329-344, 1983.

MILLER, D. K. et al. Johnsongrass (*Sorghum halepense*) control and rainfastness with glyphosate and adjuvants. **Weed Technology**, v. 12, n. 1, p. 617–622, 1998.

NANDULA, V. K. et al. Formulation and adjuvant effects on uptake and translocation of clethodim in Bermudagrass (*Cynodon dactylon*). **Weed Science**, v. 55, n. 1, p. 6-11, 2007.

NEGRISOLI, M. M. et al. Effect of angled spray nozzle designs on spray distribution and droplet spectrum. **Revista Ciência Agronômica**, v. 52, n. 3, p. 1-9, 2021.

OLIVEIRA, R. B. et al. Spray adjuvant characteristics affecting agricultural spraying drift. **Engenharia Agrícola**, v. 35, n. 1, p. 109-116, 2015.

OLIVEIRA JÚNIOR, R. S. et al. **Biologia e manejo de plantas daninhas**. Curitiba: Ominipax; 2011.

PALLADINI, L. A. et al. Choice of tracers for the evaluation of spray deposits. **Scientia Agrícola**, v. 62, n. 5, p. 440-445, 2005.

PEDRINHO JUNIOR, A. F. F. et al. Influência da chuva na eficácia do glyphosate em mistura com adjuvantes na dessecação de plantas daninhas. **Planta Daninha**, v. 20, n. 2, p. 263-272, 2002.

PRADO, E. P. et al. Taxa de aplicação e uso de surfactante siliconado na deposição da pulverização e controle da ferrugem da soja. **Engenharia Agrícola**, v. 35, n. 3, p. 514-527, 2015.

RAMOS, M. F. T. et al. Does the sequence of addition of herbicide and adjuvants to the spray solution influence sicklepod control? **Arquivos do Instituto Biológico**, v. 86, n. 1, p. 1-7, 2019.

RODRIGUES, B. N., ALMEIDA, F. S. **Guia de herbicidas**. 6^a.ed. Londrina: Edição dos Autores; 2011.

ROGGENBUCK, F.C. et al. Increasing post- emergence herbicide efficacy and rainfastness with silicone adjuvants. **Weed Technology**, v. 4, n. 1, p. 576 -80, 1990.

RYCKAERT, B. et al. Quantitative determination of the influence of adjuvants on foliar fungicide residues. **Crop Protection**, v. 26, n. 10, p. 1.589-1.594, 2007.

SCHAMPHELEIRE, M. D. et al. Effects on pesticide spray drift of the physicochemical properties of the spray liquid. **Precision Agriculture**, v. 9, n. 1, p. 1-12, 2008.

SHERRICK, S. T. et al. Effects of adjuvants and environment during plant development on glyphosate absorption and translocation in field bindweed (*Convolvus arvensis*). **Weed Science**, v. 34, n. 6, p. 811-816, 1986.

SOCIEDADE BRASILEIRA DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS - SBCPD. **Procedimentos para instalação, avaliação e análise de experimentos com herbicidas**. Londrina: 1995. 42 p.

STEVENS, P. J. G. et al. Pathways and mechanisms of foliar uptake as influenced by surfactants. **Abstracts 2nd International Symposium on Adjuvants for Agrichemicals**, p. 43.

VAN ZYL, S. A. et al. The use of adjuvants to improve spray deposition and *Botrytis cinerea* control on chardonnay grapevine leaves. **Crop Protection**, v. 29, n. 1, p. 58-67, 2010.

VILLIERS, B. L. et al. Tralkoxydim: adjuvant, MCPA and others effects. **Weed Research**, v. 41, n. 1, p. 547-556, 2001.

VITORINO, H. S. et al. Eficiência de herbicidas no controle de plantas daninhas latifoliadas em mamona. **Arquivos do Instituto Biológico**, v. 79, n. 1, p. 129-133, 2012.

XU, L. et al. Adjuvant effects on evaporation time and wetted area of droplets on waxy leaves. **Transactions of the ASABE**, v. 53, n. 1, p. 13-20, 2010.

WERLANG, R. C. et al. Efeitos da chuva na eficiência de formulações e doses de glyphosate no controle de *Brachiaria decumbens*. **Planta Daninha**, v. 21, n. 1, p. 121-130, 2003.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A realização deste estudo teve como princípio o entendimento das interações ocasionadas pelo acréscimo de adjuvantes, de diferentes classes, ao herbicida clethodim, nas características físico-químicas de calda, bem como na caracterização da pulverização e na minimização dos impactos ambientais, como a precipitação ocorrida após a aplicação, no controle de capim-amargoso. Considerando o cenário de manejo de plantas daninhas, tem-se verificado elevado grau de dificuldade de controle, em especial espécies de *D. insularis*, onde apresentam elevado grau de resistência à determinados herbicidas comumente utilizados. Sabe-se que o desenvolvimento de novos ingredientes ativos se tornou mais escasso e, desta forma, a racionalização do uso do herbicida, além do conhecimento sobre tecnologia de aplicação são de extrema importância. Assim, medidas como o acréscimo de adjuvantes à calda herbicida e a verificação de parâmetros como condutividade elétrica, pH, viscosidade e tensão superficial podem fazer toda a diferença já no processo antes da aplicação. Posteriormente, a verificação do ângulo de contato da gota sobre a superfície vegetal, além do espectro de gotas gerado, deposição da calda sobre o alvo e, por fim, os impactos oriundos da ocorrência de chuva após a aplicação podem aumentar o sucesso decorrente da aplicação e, consequentemente, otimizar a eficiência de controle do herbicida.

REFERÊNCIAS

BARROSO, A. A. M. et al. Interação entre herbicidas inibidores da Accase e diferentes formulações de glyphosate no controle de capim-amargoso. **Planta Daninha**, v. 32, n. 3, p. 619-627, 2014.

CARVALHO, L. B. et al. Detection of sourgrass (*Digitaria insularis*) biotypes resistant to glyphosate in Brazil. **Weed Science**, v. 59, n. 2, p. 171-176, 2011.

CAVALIERI, J. D. **Resistência de populações de *Digitaria insularis* (L.) Fedde a herbicidas: frequência de ocorrência e interações entre formulações de glyphosate e adjuvantes**. 2017. 101 f. Tese (Doutorado) - Curso de Agronomia, Departamento de Proteção Vegetal, Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2017.

CUNHA, J. P. A. R. et al. Efeito da temperatura nas características físico-químicas de soluções aquosas com adjuvantes de uso agrícola. **Planta Daninha**, v. 28, n. 3, p. 665-672, 2010.

GAZZIERO, D. L. P. et al. Estimating yield losses in soybean due to sourgrass interference. **Planta Daninha**, v. 37, n. 1, p. 1-10, 2019.

GILO, E. G. et al. Alternatives for chemical management of sourgrass. **Bioscience Journal**, v. 32, n. 4, p. 881-889, 2016.

KUDSK, P. et al. The influence of temperature, humidity and simulated rain on the performance of thiameturon-methyl. **Weed Research**, v. 30, n. 4, p. 261-269, 1990.

MENDONÇA, G. S. D. et al. Ecophysiology of seed germination in *Digitaria insularis* ((L.) Fedde). **Revista Ciência Agronômica**, v. 45, n. 4, p. 823-832, 2014.

MONDO, V. H. V. et al. Efeitos da luz e temperatura na germinação de sementes de quatro espécies de plantas daninhas do gênero *Digitaria*. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 32, n. 1, p. 131-137, 2010.

OVEJERO, R. F. L. et al. Frequency and dispersal of glyphosate resistant sourgrass (*Digitaria insularis*) populations across Brazilian agricultural production areas. **Weed Science**, v. 65, n. 2, p. 285-294, 2017.

PIRES, N. M. et al. Quantificação dos herbicidas glyphosate e sulfosate na água após simulação de chuva. **Planta Daninha**, v. 18, n. 3, p. 491-499, 2000.

SOUZA, G. S. F. **Intervalos de chuva na eficiência de herbicidas aplicados em pós-emergência**. 2010. 82 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia - Agricultura) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agronômicas, Botucatu, 2010.

